

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

АВТОМАТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

МАТЕРІАЛИ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ

14-15 листопада 2019 року

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, проспект Центральний, 3

МАТЕРІАЛИ

Миколаїв 2019

УДК 681.5:621.3
ББК 81а73
П 75

Автоматика та електротехніка: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених [Електронний ресурс]. – Миколаїв: НУК, 2019. – 129 с.

У збірнику подані матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених "Автоматика та електротехніка".

Розглянуті питання теорії, практики та розвитку електромеханічних систем і пристроїв суднового та загальнопромислового призначення, а також електротехнологічного та інформаційно-вимірювального обладнання.

Збірник може бути корисним для наукових співробітників, викладачів, інженерів та студентів.

ОРГАНІЗАТОРИ:

1. МОН України;
2. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

Матеріали публікуються за оригіналами, наданими авторами. Претензії до організаторів не приймаються.

Комп'ютерна верстка:
Відповідальний за випуск:

М. В. Шилюк
О. О. Черно

© Національний університет кораблебудування, 2019

СЕКЦІЯ 1. АВТОМАТИКА, ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ І ПРИСТРОЇ

УДК 621.315

Осуховський В. Ю.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ПЕРЕДАЧА ІНФОРМАЦІЙНОГО СИГНАЛУ ПО СИЛОВИМ ЛІНІЯМ

У наш час існує два види передачі інформації по силовим провідникам: передача точка-точка по повітряних високовольтних лініях напруги (35-750 кВ) і широкопasmова загальномережева передача даних, (BPL -Broadband Power Line), в мережах середньої та низької напруги (0,4-35 кВ). Кожен з цих видів має свої особливості.

Високовольтні лінії електропередач (ЛЕП) вже давно використовуються в енергосистемах для передачі інформації на високих частотах (ВЧ). ВЧ-зв'язок постійно розвивається і залишається найбільш надійним засобом управління віддаленими об'єктами електроенергетичних систем і економічно вигідним видом зв'язку при передачі малих обсягів інформації на великі відстані. Високочастотний зв'язок організовується між двома суміжними підстанціями, які з'єднані лінією електропередач напругою 35кВ і вище. Для того щоб змінний струм частотою 50 Гц потрапляв на шини розподільного пристрою підстанції, а сигнали зв'язку на відповідні комплекти зв'язку, використовують високочастотні загороджувачі і конденсатори зв'язку. ВЧ-загороджувач має невеликий опір на струмі промислової частоти і великий опір на частоті каналів високочастотного зв'язку. Конденсатор зв'язку - навпаки: має великий опір при частоті 50 Гц, а на частоті каналу зв'язку - малий опір. Таким чином, забезпечується потрапляння на шини підстанції виключно струму частотою 50 Гц, на комплект ВЧ-зв'язку - тільки сигналів на великій частоті.

Для прийому і обробки сигналів ВЧ-зв'язку на обох підстанціях, між якими організований ВЧ-зв'язок, встановлюють спеціальні фільтри, приймачі сигналів і комплекти обладнання, які здійснюють певні функції.

Привабливість цієї технології для операторів мереж електропостачання полягає в тому, що для передачі інформаційних сигналів використовується власна інфраструктура електромережі. Таким чином технологія є не тільки дуже економічною - відсутні поточні витрати на утримання каналів зв'язку, але і дозволяє підприємствам енергопостачання бути незалежними від провайдерів послуг зв'язку, що особливо важливо в аварійних випадках, і навіть пропонується на законодавчому рівні багатьох країн. ВЧ зв'язок є універсальним технологічним рішенням як для підприємств, що займаються передачею і розподілом електроенергії, так і компаній орієнтованих на надання послуг населенню.

У сучасних цифрових ВЧ системах щільність інформації при використанні швидких сигнальних процесорів і цифрових способів модуляції може бути збільшена в порівнянні з аналоговими системами з 0,3 до 8 біт / сек. Таким чином, для смуги частот 8 кГц в кожному напрямку (прийм і передача) може бути досягнута швидкість 64 кбіт / с, в той час як у PowerLink даний показник становить 76,8 кбіт на секунду, займаючи смугу 8 кГц (PowerLink - перша система ВЧ зв'язку, яка дозволяє передавати сигнал відеоспостереження).

Апаратура ВЧ-зв'язку по лініях електропередач - це, як правило, двосmугова аналогова система передачі (АСП), в якій додатково встановлено високовольтний блок підключення до ЛЕП, а також є специфічні закінчення для вирішення завдань управління, передачі сигналів телемеханіки та міжмашинного обміну в енергомережах.

Будь-який канал зв'язку можна умовно розділити на дві частини - приймально-передавальну апаратуру ущільнення і лінію зв'язку між цією апаратурою. Роль лінії зв'язку в ВЧ каналах по ЛЕП виконує ВЧ тракт по фазним проводам або грозозахисним тросам ЛЕП, що зв'язують підстанції, на яких встановлюється апаратура ущільнення.

Основні особливості, що відрізняють ВЧ тракти від звичайних дротових ліній зв'язку, визначаються особливостями ЛЕП як середовища передачі сигналів. Ці особливості обумовлені тим, що ЛЕП конструюється для передачі електроенергії на промисловій частоті і лише в тій чи іншій мірі може пристосовуватися для передачі по ній ВЧ сигналів.

Високочастотним трактом називається з'єднаний чотириполюсник, укладений між входом і виходом кінцевої або проміжної апаратури ущільнення АУ, який включає в себе:

багатополіусники - багатопровідні ЛЕП (повітряні або кабельні), відгалуження від них; підстанції (ПС) з встановленим на них високовольтним обладнанням;

чотириполюсники- пристрої приєднання ПП, що складаються з фільтрів приєднання (ФП) з конденсаторами зв'язку (КС), ВЧ кабелі, розділові фільтри і т.д. ;

двополюсники - високочастотні загороджувачі ВЧЗ, розділові контури, що є окремим випадком розділових фільтрів.

Всі схеми приєднання до дротів (фазами або до грозозахисним тросам) ЛЕП можна розділити на дві групи:

– приєднання між проводами і землею. Це, як правило, схеми фаза-земля, трос-земля і два троса - земля;
 – приєднання між проводами. Це, як правило, схеми фаза-фаза, трос-трос, внутрішньофазне або всередині тросове приєднання відповідно до ізольованих дротів розщепленої фази або троса. Схема організації ВЧ каналу зв'язку по ЛЕП з приєднанням за схемою фаза - земля представлено на рис. 1.

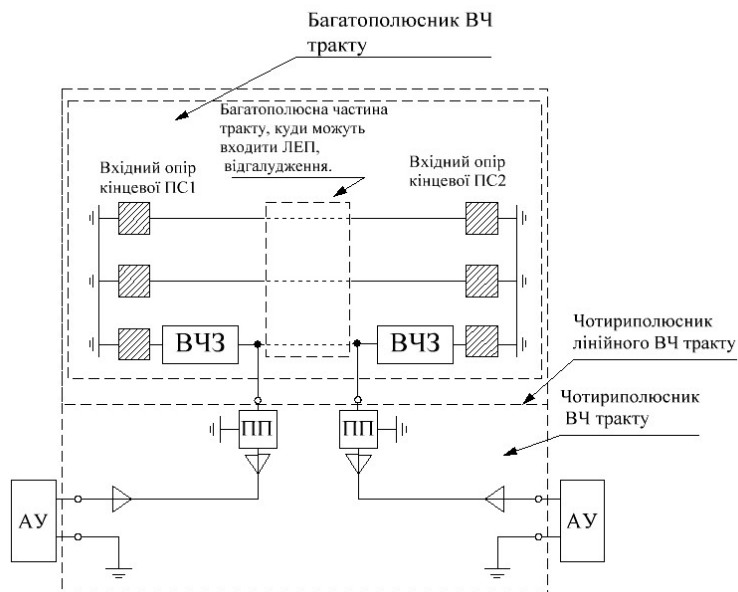


Рис. 1

PLC - це порівняно недавно технологія, яка з'явилась в області передачі інформації по електричним мережам низької напруги та забезпечує роботу в частотному діапазоні від 1 до 30 МГц.

Прототипом PowerLine є технологія PowerPacket фірми Intellon, покладена в основу створення єдиного стандарту HomePlug1.0 specification (прийнятого альянсом HomePlug в 2001 г.), в якому визначено швидкість передачі даних до 14 Мбіт / с.

Однак ця технологія стикається з деякими значними труднощами, пов'язаними з її характеристиками, особливо в тому, що стосується відповідності стандарту EMC. Одна з найбільш критичних проблем - це створення ЕМ-полів, які можуть порушити радіотрансляцію в тому ж частотному діапазоні.

Прикладні області, які можуть бути покриті за допомогою PLC-технології:

- зовнішня, тобто в соціальній мережі забезпечення: автоматизація, моніторинг, функції віддаленого зняття вимірів, оперативна телефонна служба. Це може бути зроблено за допомогою існуючих розподільних мереж, без проведення додаткових ліній;

- внутрішня, тобто всередині будівлі споживача: контроль і моніторинг, включаючи функції сигналізації, внутрішня система комунікації (так звана, «домашня»), легке об'єднання в мережу обладнання, що обробляє дані; все це реалізується з використанням існуючої у споживача проводки і не вимагає прокладання додаткових ліній або використання радіоблабднання;

- гранична, тобто з'єднує внутрішню і зовнішню PLC-області: наприклад, служби для споживача знаходяться поруч з енергозабезпеченням;

- моніторинг роботи систем із забезпеченням відповідної реакції;

- віддалений контроль обладнання (такого як електричні нагрівачі або кип'ятильники);

- забезпечення громадських телекомунікаційних служб, шляхом зв'язку зовнішньої PLC - системи з телекомунікаційною основою: наприклад, високошвидкісного інтернет-доступу, громадської телефонії, при необхідності відео.

На даний час передача інформаційного сигналу по силовим лініям не застосовується на судах. Данну систему можливо застосувати для дистанційного керування підрулюючим пристроєм судна. При використанні передачі інформаційного сигналу по силовим лініям зменшується використання дроту для керування підрулюючими пристроями.

Висновки. Розглянуто можливість використання силових ліній для передачі інформації. Для передачі інформації можна використовувати ВЧ тракт або PLC технологія. В суднових електроенергетичних системах дані технології можна використовувати для дистанційного керування електромеханічними системами вантажопідіймних механізмів та електрорушійних установок, зокрема для підрулюючих пристроїв.

Список використаних джерел

1. G. Goldberg. "EMC PROBLEMS OF POWER LINE COMMUNICATION (PLC) SYSTEMS". 2001
2. Шкарин Ю. П. Высокочастотные тракты каналов связи по линиям электропередачи. – М.: НТФ "Энергопрогресс", 2001. — 72 с.
3. Дуженова Ж.А., Кадомская К.П. Передача информации по силовым кабелям высокого напряжения – Электричество, 1996, №8.

УДК 004.312.26

Смирнов О. Ю., Кошутько В. В.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ВИКОРИСТАННЯ КОДУ ХЕММІНГА ДЛЯ ВИПРАВЛЕННЯ ОДИНИЧНОЇ ПОМИЛКИ

При передачі цифрових даних через канал можливе виникнення завад, які змінюють ці дані. Щоб забезпечити вищу надійність передачі необхідно використати допоміжні системи. Для реалізації контролю завад код, що передається, повинен бути надмірним, тобто містити додаткові біти. Найбільша вірогідність виникнення збою в одному біті інформаційного слова. виправити одиначну помилку дозволяє код Хемінга.

Припустимо, що слово складається з n розрядів, до цього слова додається ще m контрольних біт, одержуємо кількість біт у слові:

$$N = n + m, \quad (1)$$

Мінімальна кількість контрольних біт слова визначається нерівністю:

$$2^m \geq m + n + 1, \quad (2)$$

Оскільки код Хемінга виправляє одиначну помилку в інформаційному слові, а кількість необхідних контрольних біт залежить від кількості інформаційних бітів, при виборі довжини слова потрібно взяти до уваги бажану швидкодію передачі, а також вірогідність похибки. При передачі певної кількості інформаційних біт словами різної довжини можна визначити мінімальну надмірність загального коду залежно від довжини слова:

$$K = \frac{l}{n} * m, \quad (3)$$

де l – загальна кількість інформаційних біт.

Якщо передаємо 627 інформаційних біт словами по 57 інформаційних і 7 контрольних біт, $K = 77$. Якщо таку ж кількість біт передаємо словами по 11 інформаційних біт, $K = 228$, що майже утричі більше. За використання найменшої кількості контрольних біт за збільшення довжини слова погіршуються коригуючі властивості коду, надмірність зменшується.

У програмі Multisim розроблена модель (рис. 1.) для кодування семи інформаційних біт чотирма контрольними. Модель складається з кодувального, декодувального пристроїв і лінії зв'язку, у яку вносять заваду.

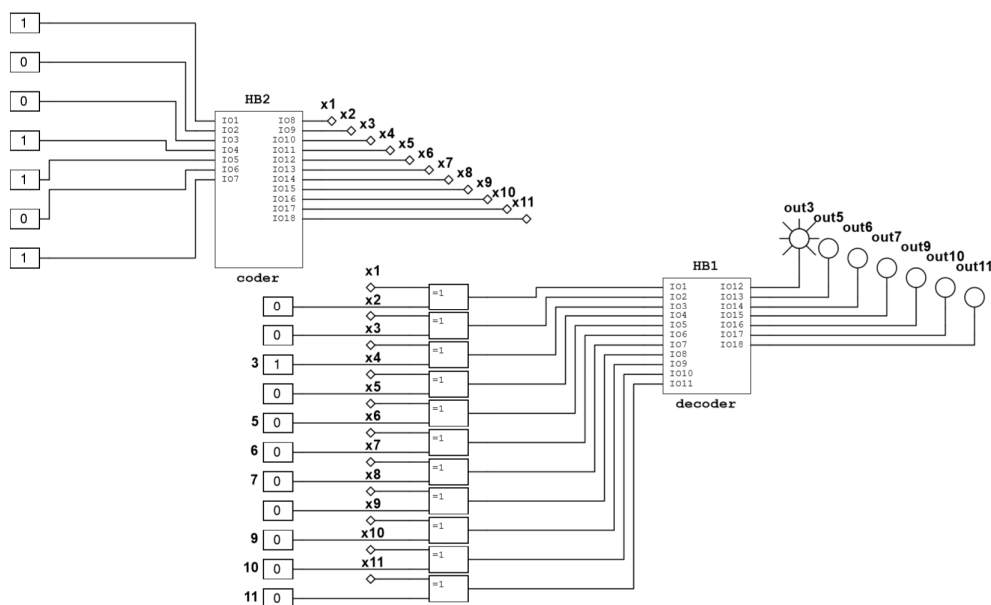


Рис. 1

Блок coder на вхід приймає $n = 7$ інформаційних біт, на вихід подає $N = 11$ біт з позначками x_1 - x_{11} , серед яких біти під номерами степенів двійки є контрольними (x_1, x_2, x_4, x_8). Елементи хог і інтерактивна константа вносять похибку у лінію передачі. На рис.1. похибка у біті x_3 , що відповідає першому інформаційному (третьому передаваному) біту. На першому виході блоку decoder логічна одиниця, що означає помилку передачі цього біта.

Для розуміння принципу роботи моделі на рис.2. зображений вміст блоку coder.

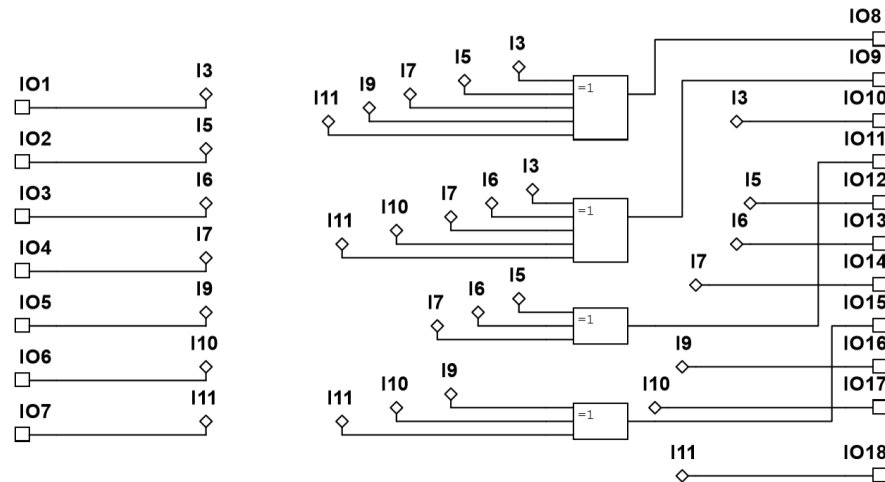


Рис. 2

Кодування здійснюється елементами виключне або на 3-5 входів, які на вихід виводять решту від ділення суми вхідних сигналів на 2. Кожен контрольний біт номера x кодує інформаційні біти через x починаючи з наступного номера $x+1$. Четвертий біт загальної послідовності ($x=4$) кодує лише інформаційні з усіх чотирьох біт від $x+1$ до $x+4$, а наступні 4 біти не кодує.

Блок decoder (рис.3.) визначає номер хибного біту. Для його виправлення потрібно об'єднати виходи пристрою декодування із його відповідними інформаційними входами.

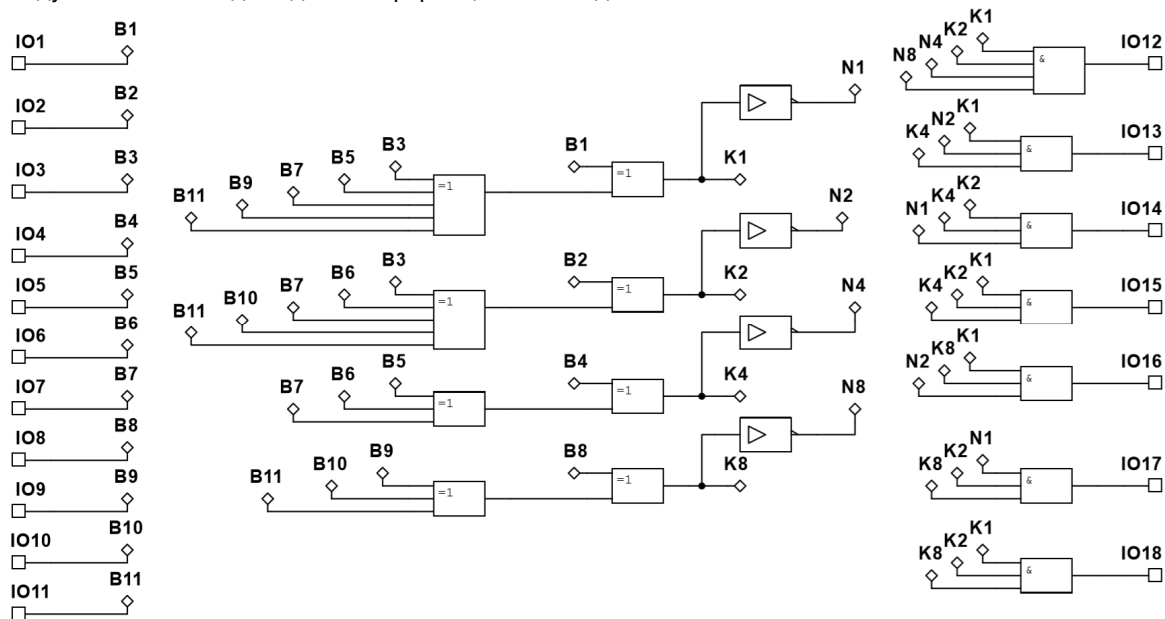


Рис.3

На першому етапі роботи пристрою декодування відбувається кодування, отримання контрольних біт. Після цього контрольні біти, що надійшли від лінії зв'язку, порівнюються із отриманими у декодері контрольними бітами. За їх рівності відповідний вихід викл. або нульовий. На виході елементи кон'юнкції формують інформаційні біти. Оскільки B_3 кодується бітами B_1, B_2 , результат попереднього етапу подається на елемент and прямо, а B_4, B_8 не

коднують V3, отже і K4, K8 подаються з інверсією. Кожна комбінація, що подається на елементи вихідного етапу декодування, однозначно відповідає певному номеру інформаційного біта. Якщо завада відсутня, або присутня в одному біті, алгоритм виправлення одиничної помилки працює правильно. Якщо помилково був переданий один контрольний біт, але інформаційні без помилки, схема ігнорує це, оскільки цінними є лише інформаційні, а контрольні - службові.

Висновки. Запропоновано апаратну реалізацію високої швидкодії алгоритму виправлення одиничної помилки на базі логічних елементів. Алгоритм можна використати для паралельної передачі даних на невеликі відстані, для послідовної передачі, додавши відповідні регістри зсуву у пристрої кодування і декодування. Алгоритм може бути реалізований ефективно на базі ПЛІС у паралельному форматі та на базі мікроконтролерів у послідовному. Перевага алгоритму полягає у відсутності необхідності повторної відправки інформаційного слова у разі одиничної помилки.

Список використаних джерел

1. Рябенський В.М. Цифрова схемотехніка: навчальний посібник / В. М. Рябенський, В. Я. Жуйков, В. Д. Гулий. – Львів : [Новий світ-2000], 2009. – 737 с.
2. Блейхут Р. Теорія і практика кодів, контролюючих помилки / Р. Блейхут - М.: Світ, 1986. - 576 с.

УДК 621.391

Кисельова А. П.

Науковий керівник – Ушкаренко О. О., д.т.н.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

СТРУКТУРА СИСТЕМИ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ПОТОКУ ГЕОЛОКАЦІЙНИХ ДАНИХ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Глобальні системи супутникового позиціонування все частіше застосовуються для визначення місця розташування в системах моніторингу транспорту, що використовують спеціальне термінальне обладнання. Розвиток і поширення сучасних систем супутникового моніторингу тісно пов'язане з підвищенням точності та достовірності прийнятих навігаційних даних. В рамках проектування систем навігації інженери стикаються з необхідністю отримання коректних геокоординат користувачів з набору необроблених даних. Точність позиціонування залежить від ряду факторів, у тому числі помилки обладнання навігаційних супутників, помилки GPS/ГЛОНАСС приймача і помилки поширення супутникового сигналу [1]. Підвищення точності визначення геолокації можна досягти шляхом застосування різних алгоритмів обробки прийнятих даних. Одним з рішень, що дозволяє підвищити достовірність геолокаційних даних, є фільтрація помилкових і надлишкових даних отриманих від GPS/ГЛОНАСС модуля. Способи та методи фільтрації геокоординат, орієнтовані на рішення зазначених вище завдань, були детально досліджені в роботах [2-4]. Проте, запропоновані алгоритми характеризуються високою складністю, а інженери часто стикаються з проблемою їх практичної реалізації через абстрактну форму опису, яка не відображає деталей реалізації. Відомо також застосування фільтра Калмана [3] для згладжування геокоординат. Фільтр ефективно згладжує поодинокі викиди координат, однак не здатний впоратися з тривалими відхиленнями траєкторії руху в умовах недостовірних значень точності і/або швидкості. Саме тому удосконалення способу опису цифрових фільтрів для спрощення їх реалізації та розробка структури системи цифрової обробки потоку геолокаційних даних, орієнтованої на мобільні пристрої, для підвищення точності визначення GPS-координат, виключення викидів, зменшення щільності точок і згладжування треку, є актуальною проблемою.

В роботі геолокаційні дані отримуються безпосередньо через GPS-модуль в форматі необроблених символічних повідомлень NMEA. В таблиці 1 наведено експериментальні дані (GPS-координати), отримані на мобільному пристрої Samsung Galaxy S8 для нерухомого об'єкта.

Таблиця 1

№ випробування	широта	довгота	№ випробування	широта	довгота
1	46,96434	32,01865	11	46,96417	32,01875
2	46,96439	32,01874	12	46,96416	32,01874
3	46,96435	32,01871	13	46,96419	32,01873
4	46,96431	32,01861	14	46,96422	32,01872
5	46,96429	32,01857	15	46,96423	32,01871
6	46,96427	32,01859	16	46,96425	32,01869
7	46,96425	32,01861	17	46,96426	32,01869
8	46,96423	32,01861	18	46,96427	32,01868

9	46,96418	32,01865	19	46,96428	32,01866
10	46,96416	32,01873	20	46,96431	32,01865

Отже, потік геолокаційних даних можна розглядати як випадковий процес з математичним очікуванням широти і довготи відповідно 46,9642555 і 32,0186745. Як видно з експериментально отриманих даних, при нульовій швидкості користувача широта і довгота в NMEA-повідомленні може зміщуватися щодо реальної точки стоянки. Така поведінка в загальному випадку пов'язана з особливостями роботи супутникової навігації. Тому потік геолокаційних даних, що отримується з GPS-приймача, необхідно послідовно обробляти в режимі реального часу з використанням цифрового фільтру.

Основними елементами, що використовуються при схемній реалізації цифрових фільтрів є елементи пам'яті, помножувачі та суматори [5]. В галузі цифрової обробки сигналів елемент пам'яті, що формує затримку вхідного відліку на один такт, позначають символом Z^{-1} . Разом з тим, безпосередньо реалізація такої затримки може бути виконана різними способами, в залежності від апаратних засобів, що використовуються. Але найчастіше цю функцію виконують регістри пам'яті. Проходження даних через регістр пам'яті (або будь-який інший функціональний елемент) узагальнено можна представити наступним чином:

$$x(n) \rightarrow f(\text{дія}) \rightarrow y(n). \quad (1)$$

Така форма запису адекватно відображає процес перетворення аргументів і повністю відповідає поняттю функціональної структури. Для функціональної структури регістру пам'яті «дія» представляє собою затримку на один такт. Тоді, згідно цієї форми запису, елемент затримки Z^{-1} буде позначатися як « $f_1(\Sigma Z^{-1})$ », суматор позначатися як « $f_1(\Sigma)$ », і помножувач як « $f_1(\Sigma_x)$ », адже з математичної точки зору множення є багатократне додавання. Нижній індекс в позначеннях відповідає порядковому номеру елемента у структурі трансверсального цифрового фільтру, що використовується в даній роботі для обробки потоку геолокаційних даних, та представлено на рис. 1.

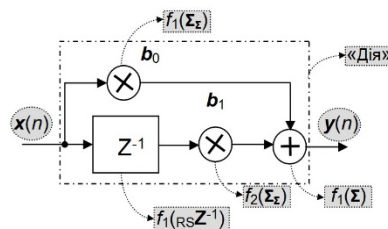


Рис. 1.

При цьому різницеве рівняння, його Z-перетворення і передатна функція фільтра приймають вигляд:

$$y(n) = b_0 x(n) + b_1 x(n-1), \quad (2)$$

$$Y(z) = b_0 X(z) + b_1 z^{-1} X(z), \quad (3)$$

$$H(z) = b_0 + b_1 z^{-1}. \quad (4)$$

У випадку, коли коефіцієнти b_0 і b_1 дорівнюють 0,5, отримується фільтр низьких частот. Якщо схему цифрового трансверсального фільтра, яка представлена на рис. 1, записати у вигляді аналітичного виразу, то замість алгебраїчного виразу (2) може бути сформований аналітичний вираз функціональної структури, представлений на рис. 2, в якому, на відміну від різничевого рівняння (2), вихідним є «Вхідний сигнал», над яким виконуються визначені дії для отримання «Перетвореного сигналу» $y(n)$.

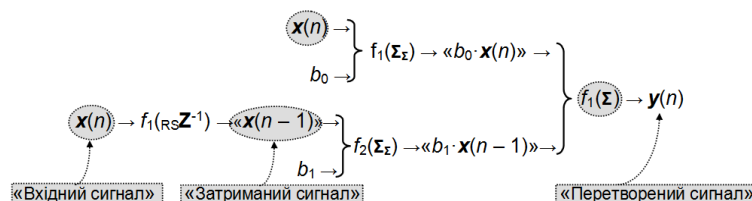


Рис. 2.

На рис. 3, а, б, представлені відповідно графіки зміни значень широти та довготи, отриманих з GPS-приймача (суцільна лінія), та після обробки потоку даних цифровим фільтром (пунктирна лінія).

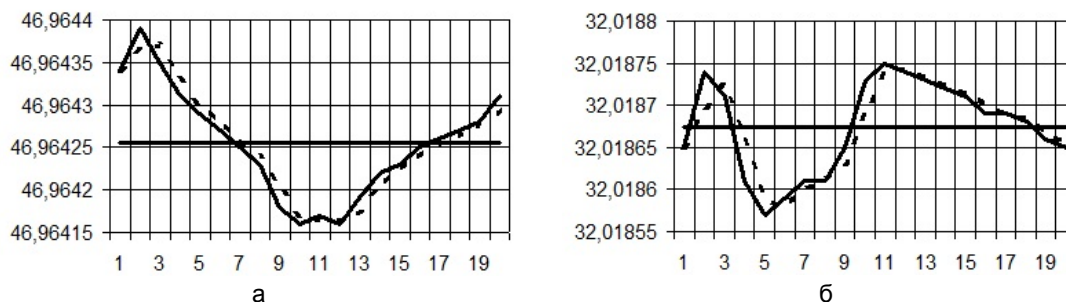


Рис. 3.

Аналіз отриманих результатів показує, що використання цифрової обробки геолокаційних даних зменшує відхилення координат від середнього значення при нерухомому об'єкті, однак для суттєвого покращення точності визначення геокоординат потрібно збільшувати порядок фільтру.

Висновки. У роботі удосконалено спосіб опису структур трансверсальних цифрових фільтрів шляхом представлення їх складових елементів у вигляді функціональних структур, що на відміну від існуючих способів опису дозволяє спростити для розробника процес переходу від структурних схем фільтрів до їх апаратної або програмної реалізації. Представлений в роботі цифровий фільтр використано для обробки експериментально отриманих на мобільному пристрої геолокаційних даних, що дозволило зменшити дисперсію відхилень геокоординат при нерухомому об'єкті та підвищити точність визначення геопозиції.

Список використаних джерел

1. Gonga Lei. Deriving Personal Trip Data from GPS Data: A Literature Review on the Existing Methodologies [Text] / Lei Gonga [et al.] // Procedia-Social and Behavioral Sciences. – 2014. – № 138. – P. 557-565.
2. Макаренко Г. К. Исследование алгоритма фильтрации при определении координат объекта по сигналам спутниковых радионавигационных систем [Текст] / Г. К. Макаренко, А. М. Алешечкин // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2012. – № 2-2(26). – С. 15-18.
3. Решетников В. Н. Фильтр Калмана как метод вторичной обработки информации с системы ГЛОНАСС [Текст] / В. Н. Решетников, И. П. Болодурина, А. А. Нугуманова // Программные продукты и системы. – 2015. – № 4. – С. 116-120.
4. Головкин А. А. Адаптивная фильтрация потока геолокационных данных в реальном времени [Текст] / А. А. Головкин, Г. С. Иванова // Наука и Образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2016. – № 4. – С. 156-169.
5. Рябенкий В. М. Программная реализация алгоритмов цифровой обработки сигналов : монография [Текст] / В. М. Рябенкий, А. О. Ушкаренко. – Николаев: НУК, 2016. – 244 с.

УДК 681.3.06

Вакуленко В. Р.

Науковий керівник – Ушкаренко О. О., д.т.н.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ВИКОРИСТАННЯ ЛОГІЧНИХ СХЕМ АЛГОРИТМІВ ПРИ СИНТЕЗІ ЦИФРОВОГО АВТОМАТУ ДЕКОДУВАННЯ СИГНАЛІВ З RFID-МІТОК

Вступ. Технологія безконтактної радіочастотної ідентифікації (RFID) знайшла широке застосування в різних галузях – логістиці, торгівлі, системах аутентифікації персоналу, системах контролю та керування доступом. RFID-мітка передає приймачу унікальний код шляхом модуляції несучої частоти. Більшість міток є пасивними: вони не містять власних джерел живлення і лише передають ідентифікатор у відповідь на запит [1]. Звичайні мітки використовують протокол EM4100, у якому застосовується амплітудна модуляція сигналу несучої з манчестерським кодуванням [2]. Транспондер передає потік з 64 бітів даних, який містить 32-бітний ідентифікатор, 8-бітний код виробника, 9-бітний заголовок, 14-бітну контрольну суму та 1 стоп-біт [3]. При цьому виникає завдання декодування потоку біт, що має манчестерське кодування, для програмної реалізації декодера. Недоліки відомих методів та підходів до реалізації процедури декодування сигналів з RFID-міток, які описані в роботах [1-3], полягають в тому, що перехід від опису алгоритму до його реалізації не є однозначним. При цьому виникають складнощі при виборі підходу до розробки програмного забезпечення для реалізації подібних завдань та стилю кодування. Тому актуальними є питання подальшого розвитку методів опису алгоритмів, зокрема використання логічних схем алгоритмів (ЛСА) в контексті абстрактного синтезу цифрового автомата для декодування сигналів з RFID-міток, представлених у манчестерському коді. Поєднання ЛСА та графів переходів в якості мови специфікації керуючих

алгоритмів [4] дозволить створити дискретно-детерміновану модель автомату для декодування даних та ізоморфно перейти до її програмної реалізації з використанням SWITCH-технології [5].

При реалізації апаратно-програмних засобів для зчитування даних з RFID-міток та їх декодуванні було використано системний підхід [6]. Проектування апаратно-програмних засобів зчитування даних з RFID-міток згідно позицій загального системного підходу складається з наступних етапів:

1. декомпозиція системи за функціональною ознакою і розробка структурної схеми, в якій відображені взаємозв'язки між її компонентами, а самі компоненти представлені у вигляді «чорного ящика»;
2. аналіз функцій кожного з елементів системи безконтактної радіочастотної ідентифікації і проектування структурної схеми у вигляді блок-схеми;
3. деталізація кожного блоку структурної схеми, вибір і обґрунтування схемотехнічних рішень;
4. розробка алгоритму роботи програмного забезпечення і створення його тестової версії;
5. перевірка роботи програми.

В даній роботі розглядається четвертий етап проектування системи – розробка алгоритму роботи програмного забезпечення декодування манчестерського коду.

Процес зчитування RFID-мітки можна умовно розділити на два етапи. На першому етапі відбувається синхронізація потоку передавання RFID-мітки з буфером приймача. При цьому не обов'язково очікувати дев'ять імпульсів заголовку, адже манчестерський код є таким, що самосинхронізується за рахунок того, що за час передавання одного біта даних забезпечується один перехід з одного потенціалу в інший. Завдання синхронізації полягає в чіткому визначенні поточної зміни рівня – інформаційна або підготовча зміна. Алгоритм входження в синхронізацію наступний. Очікується перша зміна рівня сигналу та друга зміна рівня. Якщо між цими змінами рівнів сигналу наявний подовжений у часі імпульс, то друга зміна рівня – це інформаційний сигнал. Тому, після отримання подовженого імпульсу починається зчитування в буфер 64 біт даних. На другому етапі виконується обробка буферу прийнятих даних. Цей 64-бітний буфер необхідно циклічно зсувати до тих пір, поки не буде знайдено 9 послідовно розташованих біт заголовку. Якщо вони не будуть знайдені, то це означає, що в буфері некоректні дані. Після знаходження заголовку по відомій структурі пакету передачі транспондера визначається біти парності по рядках та стовпцях, і виконується їх порівняння з переданою контрольною сумою. Описаний алгоритм декодування манчестерського коду, який використовується при передаванні сигналів з RFID-міток, описується наступною логічною схемою алгоритму:

$$\downarrow^0 Y_0 \bar{w} \uparrow^9 x_0 \uparrow^0 \downarrow^4 Y_1 \downarrow^2 x_1 \uparrow^1 x_2 \uparrow^2 Y_2 w \uparrow^0 Y_3 w \uparrow^0 Y_4 w \uparrow^0 Y_5 \downarrow^3 x_3 \uparrow^3 Y_6 x_4 \uparrow^4 Y_5, \quad (1)$$

де Y_0 – процедура зчитування манчестерського коду; x_0 – підпрограма отримання (детектування) сигналу синхронізації; Y_1 – запуск таймера/лічильника; x_1 – перевірка умови $T > T_{s2}$, T – поточне значення таймера, $T_{s2} = T_{L1} = 384$ мкс; x_2 – зміна сигналу не зафіксовано; Y_2 – зчитування стану порту; Y_3 – запис у зміну Біт стану порту; Y_4 – збереження змінної Біт у буфер; Y_5 – запуск таймера; x_3 – перевірка умови; Y_6 – підрахунок кількості біт; x_4 – перевірка умови: «Чи отримана кількість біт менша за довжину коду?»; Y_5 – завершення процедури зчитування коду.

Для можливості зміни послідовності виконання алгоритму в ЛСА використовуються оператори переходу – стрілки вгору, і відповідні їм точки входу – стрілки вниз. При цьому верхній індекс стрілки однозначно ідентифікує перехід. Логічні умови служать для розгалуження алгоритму. Якщо результат логічної умови приймає значення лог. 0, то виконується перехід по стрілці праворуч від умови. В іншому випадку виконується вираз, наступний за стрілкою. Для можливості поділу алгоритму на дві гілки, кожна з яких має свою точку входу, було введено апріорі помилкову логічну умову з позначенням w .

Результати виконання підпрограми детектування сигналу синхронізації манчестерського коду є логічне значення «0» або «1». Тобто, виконання алгоритму продовжиться лише у випадку, коли підпрограма поверне логічне значення «1», що означає, що сигнал синхронізації манчестерського коду було отримано.

Логічна схема алгоритму детектування сигналу синхронізації манчестерського коду має вигляд:

$$\downarrow^9 Y_7 \downarrow^5 x_5 \uparrow^5 \downarrow^8 Y_8 \downarrow^6 x_5 \uparrow^6 Y_9 x_6 \uparrow^1 x_7 \uparrow^8 x_8 \uparrow^1 Y_{10} w \uparrow^9 Y_{11} w \uparrow^9 \downarrow^1 Y_{12} x_0 \uparrow^1 \uparrow^0, \quad (2)$$

де Y_7 – визначення напрямку зміни стану сигналу (фронт або зріз); x_5 – перевірка умови наявності зміни сигналу; Y_8 – запуск таймера/лічильника; Y_9 – зупинка таймера/лічильника; x_6 – перевірка умови $T < T_{s1}$, T – поточне значення таймера/лічильника, $T_{s1} = 180$ мкс; x_7 – перевірка умови $T < T_{L1}$, $T_{L1} = 420$ мкс; x_8 – перевірка умови $T < T_{L2}$, $T_{L2} = 600$ мкс; Y_{10} – формування часової затримки, тривалість $T_{next} = T_{s2} = 360$ мкс; Y_{11} – завершення виконання підпрограми та повернення значення логічної «1»; Y_{12} – завершення виконання підпрограми та повернення значення логічного «0», що є ознакою виявлення помилки при отриманні сигналу.

Використання ЛСА передбачає проектування системи з урахуванням одночасно як апаратної, так і програмної його складових. Крім того, отриманий в результаті проектування формальний опис алгоритмів виходить набагато компактнішим в порівнянні з класичною структурною схемою або блок-схемою алгоритму. Наступним етапом проектування системи було проведення аналізу ЛСА на предмет наявності ідентичних послідовностей. Якщо в кількох ЛСА виявляються такі послідовності, то відбувається об'єднання цих ЛСА шляхом об'єднання: всі неіден-

тичні блоки розташовуються в порядку, відповідному їх розташуванню до об'єднання, а ідентичні враховуються лише один раз. В результаті цього виключається поява декількох еквівалентних станів, що позитивно впливає на швидкість алгоритму при його програмній реалізації.

Розроблені логічні схеми алгоритмів було представлено у вигляді графу переходів цифрового автомата, який наведено на рис. 1.

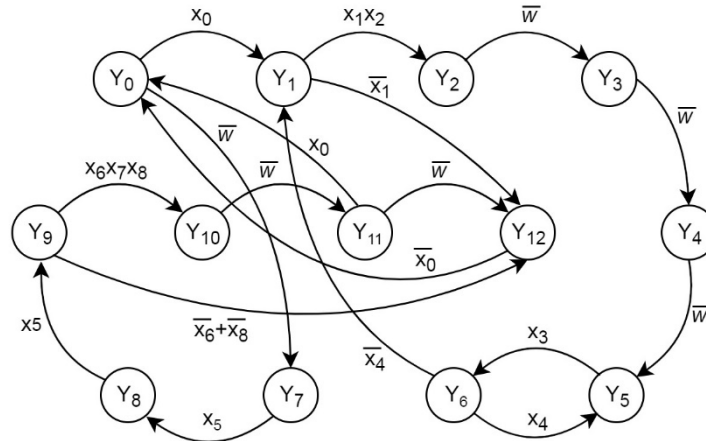


Рис. 1.

Програмна реалізація логіки функціонування цифрового автомата декодування манчестерського коду виконується за допомогою SWITCH-технології [5].

Висновки. У роботі отримав подальший розвиток метод проектування цифрових автоматів шляхом застосування логічних схем алгоритмів в якості мови специфікації на етапі абстрактного синтезу автомата, що є відмінною ознакою від існуючих методів. Це дозволило спростити аналіз автомата за рахунок формалізації запису алгоритму його роботи та відсутності зайвих елементів. Запропонований підхід використано при абстрактному синтезі цифрового автомата для декодування манчестерського коду, який використовується при передаванні сигналів з RFID-мітки. На основі розроблених логічних схем алгоритмів побудовано дискретно-детерміновану модель, представлену у вигляді графу переходів, що визначає закон функціонування і структуру керуючого автомата для декодування сигналу з RFID-мітки, яку буде використано при програмній реалізації автомата на одній з мов програмування високого рівня.

Список використаних джерел

1. Pradhan A. Technological assessment of radio frequency identification technology for indoor localization [Text] / A. Pradhan, E. Ergen, B. Akinci // Journal of Computing in Civil Engineering. – 2009. – №. 23(4). – P. 230-238.
2. Joho D. Modeling rfid signal strength and tag detection for localization and mapping [Text] / D. Joho, C. Plagemann, W. Burgard // In Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 2009. – P. 3160-3165.
3. Lima A. RFID relay attacks: System analysis, modeling, and implementation [Text] / A.Lima, A. Miri, M. Nevins // Security in RFID and Sensor Networks. – 2016. – № 4. – P. 49-75.
4. Babakov R.M. Structural representation of the synthesis process control machines operating with automatic transitions [Text] / R.M. Babakov, A.A. Barkalov // Control systems and machines. – 2011. – № 3. – P. 47-53.
5. Рябенський В. М. Помехоустойчивое кодирование информации с использованием SWITCH-технологии / В. М. Рябенський, А. О. Ушкаренко, А. Сулейман, А. С. Ярошук // Проблеми інформаційних технологій. – 2009. – №5. – С. 156–160.
6. Голышев Л. К. Системный подход к анализу и проектированию сложных систем. Системный проект : науч. моногр. [Текст] / Голышев Л. К.; Нац. техн. ун-т Украины "Киев. политехн. ин-т". – К. : Информ.-аналит. агентство, 2011. – 554 с.

УДК 621.314.2

*Єрмолов М. В., магістр**Науковий керівник Черно О. О., к.т.н., доцент**Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв*

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОДАЧ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТУ

Перехід фрезерних верстатів до управління за допомогою ЧПУ та мікропроцесорів спрямований на покращення виробничого процесу, досягнення переваг у часі використаному на виробництво, у точності та скороченні потреби у постійному нагляді людиною, тому розробка та впровадження таких систем є актуальною задачею.

Перевага верстатів з ЧПУ – швидке переналагодження без зміни або перестановки механічних елементів. Треба тільки змінити інформацію, що вводиться у верстат, і він почне працювати за іншою програмою, тобто, обробляти іншу заготовку (деталь). Висока універсальність верстатів з ЧПУ зручна в тих випадках, коли потрібний швидкий перехід на виготовлення іншої деталі, обробка якої на звичайних верстатах вимагає використання спеціального оснащення [1].

Управління електроприводами подач фрезерного верстату виконується за допомогою мікропроцесорних систем. Дані системи універсальні, оскільки вони мають дуже високу швидкодію та достатню розрядність для обробки інформації на виробництві.

Робота має на меті створення системи, яка забезпечуватиме автоматичне керування електроприводами подач фрезерного верстату. Для створення такої системи розв'язуються наступні задачі:

- розробка функціональної, динамічної структурної та принципової електричної схем системи автоматичного управління електроприводом подачі фрезерного верстата;
- визначення структур і параметрів коригуючих пристроїв системи управління;
- розрахування перехідних процесів в системах управління приводами подач;

Оскільки переміщення рухомої частини верстату потрібно відтворювати з високою точністю, система будується за принципом зворотного зв'язку. В процесі управління система здійснює вимір дійсних значень координат переміщення стола x , y , z , порівняння їх з приписаними, формування сигналу помилки, формування керуючого сигналу в залежності від помилки згідно з певним законом, підсилення цього сигналу і подача на обмотку виконавчого електродвигуна, перетворення обертового руху на поступальний.

Для забезпечення високих показників якості управління в системі також застосовуються коригуючі пристрої. Використання тільки послідовного коригуючого пристрою вимагає дуже складної його структури, а також робить систему управління чутливою до змін параметрів об'єкта [2]. Тому, крім послідовного, доцільно використовувати також паралельний коригуючий пристрій, включений у коло місцевого зворотного зв'язку, наприклад, зворотного зв'язку за швидкістю обертання двигуна.

Функціональна схема системи автоматичного управління електроприводами подач верстата представлена на рис. 1.

На схемі прийняті наступні позначення: x , y , z – координати переміщень, $x_{пр}$, $u_{пр}$, $z_{пр}$ – приписані значення координат; v – швидкість руху, a_{max} – максимальне прискорення; ШІМ-перетворювач – широтно-імпульсний перетворювач; ДПС – двигун постійного струму; ТГ – тахогенератор.

Система працює наступним чином. Послідовність переміщень за координатами x , y , z , а також швидкість руху v поступають на вхід мікроконтролера, де відбувається формування законів зміни приписаних значень координат $x_{пр}$, $u_{пр}$, $z_{пр}$ у часі. Ці значення порівнюються з реальними величинами переміщень x , y , z , вимірними за допомогою датчиків, і формуються сигнали помилок. В залежності від сигналів помилок та вихідних сигналів тахогенераторів, згідно закону управління, що визначається структурою коригуючих пристроїв, на виході мікроконтролера формуються керуючі діяння. Вони підсилюються ШІМ-перетворювачами за потужністю і подаються на якірні обмотки виконавчих електродвигунів. За допомогою гвинтових передач виконується перетворення обертання двигунів на поступальні рухи стола, салазок і бабки. Таким чином досягається відповідність дійсних значень переміщень координат x , y , z приписаним із заданою точністю.

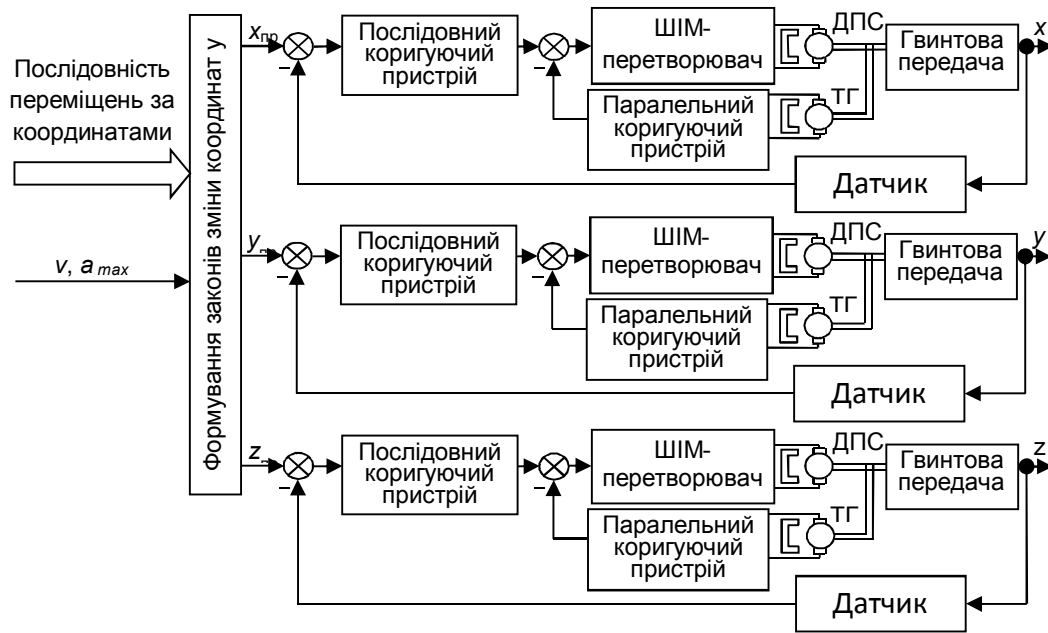


Рис. 1. Функціональна схема системи автоматичного управління.

Оскільки всі три приводи подає є однотипними, для опису їх динаміки можна скористатися типовою структурною схемою слідкувального електроприводу постійного струму [1] (рис. 2).

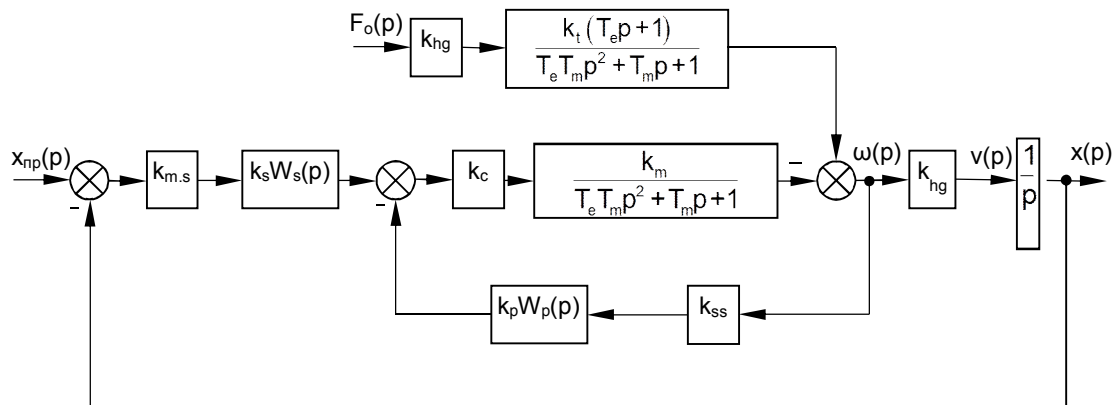


Рис. 2. Динамічна структурна схема системи автоматичного управління електроприводом подачі стола.

На схемі прийнято наступні позначення: F_o – сила опору; ω – швидкість обертання двигуна; v – швидкість руху стола; T_e , T_m – електромагнітна та електромеханічна постійні часу двигуна; $W_s(p)$, $W_p(p)$ – передавальні функції коригуючих пристроїв, що задовольняють умові $W_s(0)=W_p(0)=1$; коефіцієнти перетворення: k_{ms} – датчика переміщення; k_{ss} – датчика швидкості; k_s , k_p – коригуючих пристроїв; k_c – перетворювача; k_m , k_t – двигуна за напругою та моментом; k_{hg} – гвинтової передачі.

Задача синтезу системи автоматичного управління полягає у визначенні місць включення, структури та параметрів коригуючих пристроїв, що забезпечують необхідні показники якості управління [3].

При синтезі системи будується бажана асимптотична ЛАЧХ системи управління (рис. 3):

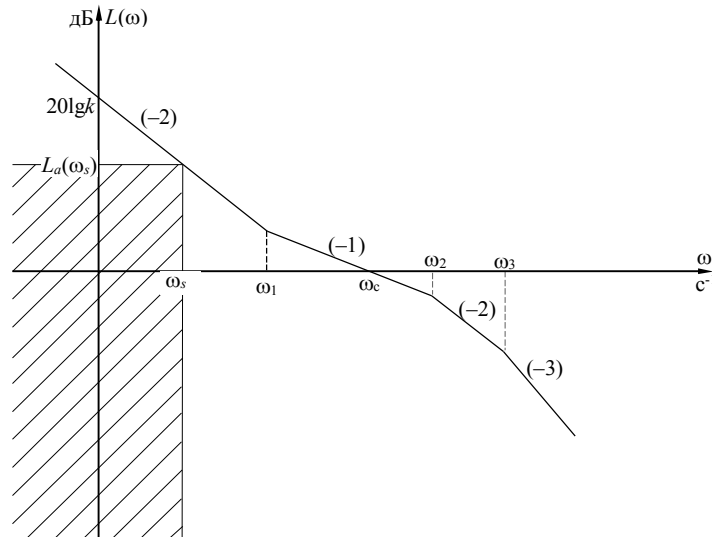


Рис. 3. Асимптотична бажана ЛАЧХ системи управління.

Перша і друга спрягаючі частоти ω_1 і ω_2 визначаються за умови забезпечення стійкості замкненої системи і бажаної якості перехідного процесу. З критерію стійкості Найквіста і властивостей асимптотичних ЛАЧХ виходить, що запас стійкості виявиться достатнім, якщо ЛАЧХ пройде через нульовий рівень з нахилом 20 дБ/дек, причому тривалість ділянки з таким нахилом займе не менше однієї декади, а сама ділянка розташується приблизно симетрично відносно частоти зрізу. В цьому випадку перерегулювання в системі не буде перевищувати 20..30%, а час перехідного процесу можна оцінити за формулою $t_p = (1..2)2\pi/\omega_c$, де ω_c – частота зрізу [2].

Оскільки перерегулювання не повинно перевищувати 5%, тривалість середньочастотної ділянки повинна бути значно більшою за декаду.

Побудована асимптотична бажана ЛАЧХ (рис. 3) визначає бажану передавальну функцію розімкненої системи:

$$W_{\text{des}}(p) = \frac{k}{p^2} \frac{T_1 p + 1}{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}, \quad (1)$$

де $T_i = \omega_i^{-1}$, $i=1..3$.

Визначено передавальні функції коригуючих пристроїв, виходячи з умови, що передавальна функція системи управління повинна дорівнювати бажаній.

Згідно зі структурною схемою (рис. 2):

$$W(p) = k_{m.s} W_s(p) \frac{\frac{k_c k_m}{T_e T_m p^2 + T_m p + 1} \cdot \frac{1}{p}}{1 + k_{s.s} \frac{k_c k_m}{T_e T_m p^2 + T_m p + 1} \cdot \frac{1}{p} \cdot p \cdot W_p(p)} \cdot k_{hg}. \quad (2)$$

Як паралельний коригуючий пристрій обрано форсуючу ланку:

$$W_p(p) = k_p \cdot (tp + 1), \quad (3)$$

де t - постійна часу, k_p - коефіцієнт підсилення.

Далі проведено підстановку (3) в (2):

$$W(p) = \frac{k_{hg} \cdot k_m}{(k_m k_p + 1)} \cdot \frac{1}{p} W_s(p) \frac{1}{\frac{T_e T_m}{k_m k_p + 1} p^2 + \frac{T_m + k_m k_p t}{k_m k_p + 1} p + 1}. \quad (4)$$

Прирівнявши отриману передавальну функцію розімкненої системи управління до бажаної, аналітично виведено передавальну функцію послідовного коригуючого пристрою:

$$W_s(p) = k_s \frac{T_1 p + 1}{p} \quad (5)$$

Після отримання комплексної передавальної функції розімкненої системи та розрахування частотних характеристик у середовищі Mathcad отримано ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкненої системи відповідно (рис. 4):

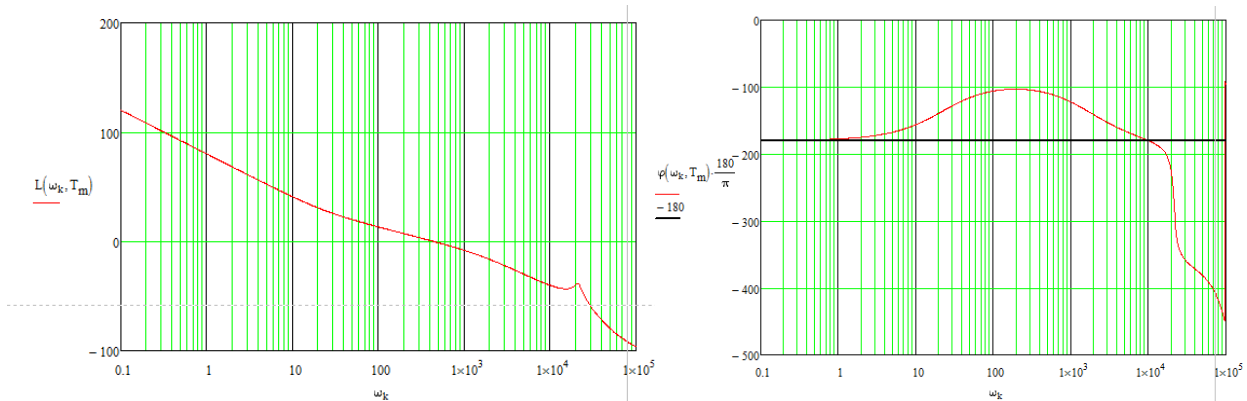


Рис. 4. Частотні характеристики системи управління електроприводами подач вертикально-фрезерного верстата.

За даними характеристиками було визначено запаси стійкості: Запас стійкості за амплітудою ΔL складає 40 дБ, а запас стійкості за фазою $\Delta \varphi$ складає $72,4^\circ$.

На підставі динамічної структурної схеми системи управління, з урахуванням визначених динамічних параметрів системи та дискретних передавальних функцій коригуючих пристроїв, складено динамічну модель у середовищі Matlab.

За допомогою розробленої моделі проведено розрахунки реакції системи на різні вхідні діяння: лінійне, синусоїдальне та сходячкове. На рисунку 4 (а) наведено графік зміни помилки при лінійному діянні. Усталене значення являє собою суму швидкісної та моментної складових помилки.

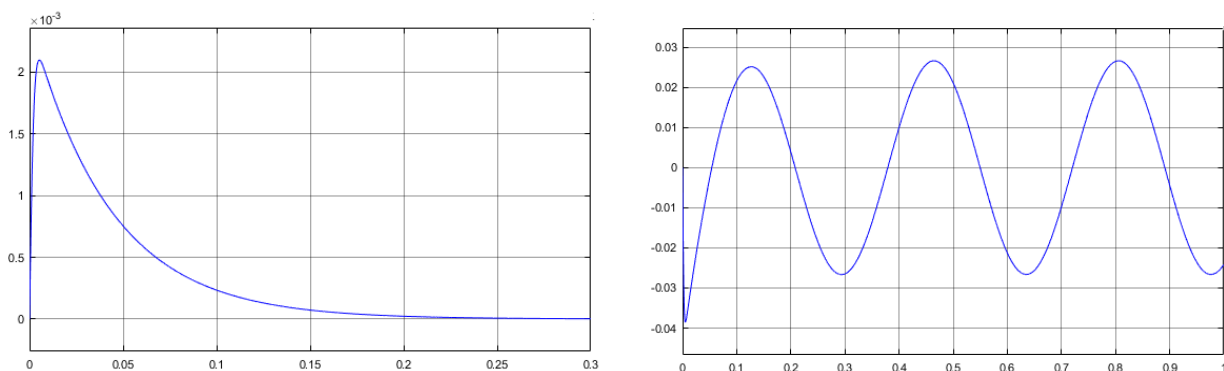


Рис. 4. Сигнал помилки при:
а) лінійно-наростаючому вхідному сигналі;
б) гармонічному вхідному сигналі.

На рисунку 4 (б) наведено графік зміни помилки при синусоїдальному (гармонічному) сигналі. Амплітуда стаціонарних коливань являє собою гармонічну складову помилки, яка становить близько 0,026 мм. Таким чином, шляхом моделювання встановлено, що система управління задовольняє вимогам точності, оскільки при двох типових вхідних діяннях усталена помилка не перевищує максимально припустимого значення $\varepsilon_{max}=0,05$ мм.

Перехідна характеристика системи визначена як її реакція на одиничний сходячковий сигнал (рис. 5).

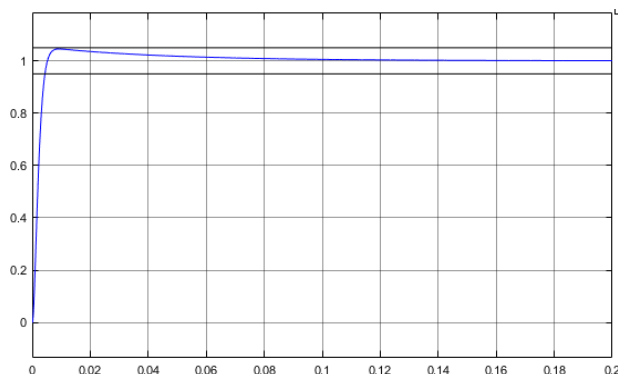


Рис. 5. Перехідна характеристика системи управління.

За графіком перехідної характеристики визначено прямі показники якості управління: максимальне перерегулювання $\sigma_{\max}=4,531\%$; час перехідного процесу $t_{n.l}=4,382$ мс. Отримані показники повністю задовольняють вимогам якості управління.

Висновки. Розглянуто роботу системи автоматичного управління електроприводом подач фрезерного верстату. Проведено побудову динамічної структурної схеми з розрахунком динамічних параметрів системи. Після синтезу системи та оцінки її стійкості було проведено моделювання роботи системи та отримано показники якості, які дозволяють оцінити стабільність роботи та час відгуку системи.

Список використаних джерел

1. Башарин А. В. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 392 с.
2. Бурдаков С. Ф. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов: Учеб. пособие / С. Ф. Бурдаков, В. А. Дьяченко, А. Н. Тимофеев. – М.: Высш. шк., 1986. – 264 с.
3. Солодовников В. В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования. Учебное пособие для вузов / В. В. Солодовников, В. Н. Плотников, А. В. Яковлев. – М.: Машиностроение, 1985. – 536 с.

УДК 681.5: 621.31

Омельянченко Б. А., магістр

Науковий керівник Черно О. О., к.т.н., доцент

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ СВЕРДЛОВИННОГО НАСОСА

Насос – це пристрій (гідравлічна машина, апарат або прилад) для напірного переміщення (всмоктування та нагнітання), в основному, крапельної рідини, в результаті передачі їй зовнішньої енергії (потенціальної та кінетичної). Пристрої для безнапірного переміщення рідини насосом, зазвичай, не називають, та відносять їх до водопідйомних машин [1].

Винахід насосу відноситься до глибокої давнини. Перший насос для гасіння пожеж, який винайшов давньогрецький механік Ктесібій, був описаний у 1 ст. до н.е. давньогрецьким вченим Героном з Олександрії у творі "Pneumatica", а згодом М. Вітрувієм у праці "De Architectura". Найпростіші дерев'яні насоси з прохідним поршнем для підйому води з криниць, ймовірно, застосовувались ще раніше.

Насоси, широко застосовуються в усіх без винятку галузях народного господарства в системах водо- і тепlopостачання, водовідливу, переміщення гідросумішей твердих сипких матеріалів (в тому числі, вугілля, породи та відходів збагачення), нафти та нафтопродуктів (гасу, авіаційного палива, бензину, тощо). Застосовується, наприклад, для накачування газу у шини, підняття води з поверхневих горизонтів (гідрант); перекачування нечистот, рідин і навіть плазми [2].

Метою роботи є розробка комп'ютеризованої системи управління електроприводом свердловинного насоса, що надає перевагу в області подачі і відведення води в населених пунктах і на промислових підприємствах.

Для досягнення мети було розв'язано наступні задачі:

- сформовано функціональну схему системи управління насосом;
- сформовано схему зв'язків між елементами системи управління;
- розроблено принципову електричну схему системи управління;
- обрано структуру регулятора та визначено його коефіцієнти;
- розроблено алгоритми керуючої програми.

Список літератури:

1. Турк В. И. Насосы и насосные станции / Турк В. И., Минаев А. В., Карелин В. Я. - Москва: Стройиздат, 1976 –87 с.
2. Специализованная насосная компания [Электронный ресурс] : Історія розвитку, види та будова насосу. URL: <http://tehnomash.com.ua/> (Дата звернення : 28.10.2019)

УДК 681.5: 621.31

Шиліук М. В., магістр

Науковий керівник Черно О. О., к.т.н., доцент

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ВІБРАЦІЙНИМИ ПРИСТРОЯМИ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДОМ

Застосування корисної вібрації становить великий інтерес для багатьох галузей промисловості. Технологічні процеси можуть здійснюватися тільки завдяки використанню вібрації, або ж її застосування значно підвищує інтенсифікацію процесів та якісні показники. На сучасному етапі розвитку технологічних машин спостерігається тенденція до розробки і впровадження енергозберіжних технологій і гнучких (швидко переналагоджуваних) технологічних ліній. Добитися мінімального споживання енергії вібраційними технологічними машинами при оптимальних параметрах технологічного процесу і змінній масі завантаження робочого органу можливо тільки тоді, коли механічна система машини знаходитиметься постійно в стані наближеному до резонансного. Тому доцільним є створення керованих вібраційних технологічних машин резонансного типу, які б могли швидко переналагоджуватися і мали можливість: автоматично змінювати параметри вібраційного поля і підтримувати їх в заданому діапазоні на резонансній робочій частоті, тим самим забезпечуючи мінімальні енергетичні витрати на електропривод. Крім цього, існує необхідність автоматичного регулювання амплітуди вібрації для забезпечення якості технологічного процесу. Таким чином, створення систем керування вібраційними пристроями з електромагнітним приводом є актуальною задачею.

Метою роботи є модернізація системи управління електромагнітним вібраційним приводом, яка полягає в удосконаленні алгоритму керування та покращенні динамічних властивостей.

Для досягнення мети було виконано наступні задачі:

- Проведено аналіз функціональної схеми керованого вібраційного привода;
- На основі удосконаленого алгоритму управління була створена імітаційна модель керуючого пристрою в програмі Simulink;
- Проведено розрахунки динаміки системи та визначення коефіцієнтів регуляторів;
- Розроблено принципову електричну схему керуючого модуля;
- Розроблено алгоритм керуючої програми;
- За допомогою спеціальної лабораторної установки проведено експериментальні дослідження.

Список літератури:

1. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины. Под ред. Э. Э. Лавендела. 1981. – 509 с.
2. Н. Базаров Теоретические аспекты создания автоматизированных виброэлектроприводов // Автоматизированный электропривод / Под общ. ред. Н.Ф. Ильинского, М.Г. Юнькова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 448с.: ил.
3. Чубик Р.В., Ярошенко Л.В. Керовані вібраційні технологічні машини. – Вінниця.: ВНАУ, 2011. – 355 с.
4. Черно А.А. Управление резонансным электромагнитным вибрационным приводом с использованием алгоритма цифровой фильтрации на основе дискретного преобразования Фурье // Международный научно-технический журнал "Проблемы управления и информатики". – 2014. – №4. – С. 111 – 125.

УДК 629.5.065

Гачегов С. О., Жук О. К., к.т.н.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ЦИФРОВИЙ БЕЗКОНТАКТНИЙ ЛІЧИЛЬНИК ДОВЖИНИ ВИТРАВЛЕНОГО ЛАНЦЮГА ДЛЯ СУДНОВОГО ЯКІРНОГО ПРИСТРОЮ

Якірно-швартовий (брашпильний) пристрій (БП) - один з найважливіших суднових пристроїв, що відповідає за безпеку експлуатації судна в цілому. Він має забезпечити, по-перше, надійну стоянку судна на якорі за будь-яких погодних і гідрологічних умов (якщо це дозволяє глибина у даному місці) і, по-друге, операції по швартуванню судна біля причалу або на рейді.

На сучасних транспортних судах застосовують два незалежних один від одного види управління віддачею і зняттям з якоря: місцеве ручне, коли всі операції виконуються вручну боцманом, який знаходиться безпосередньо біля брашпиля; дистанційне, з ходової рубки. У свою чергу, дистанційне керування використовується як у звичайних ситуаціях – для постановки судна на якір, так і в аварійних ситуаціях – для екстреного гальмування судна, при якому якір-ланцюг витравлюють на ґрунт і тим самим зменшують швидкість руху судна. Перед постановкою на якір судноводій визначає глибину місця (за ехолотом або лоцією). Найбільша глибина якірної стоянки, як правило, не перевищує 100 м. При віддачі якоря контролюється довжина витравленого якірного ланцюга, яка для одержання максимальної тримаючої сили має становити 3...4 глибини [1].

З урахуванням викладених обставин, для полегшення виконання судноводіями якірних операцій Регістром судноплавства України й іншими міжнародними класифікаційними асоціаціями передбачено обладнання кожного БП лічильником довжини витравленого якірного ланцюга [2]. Такий лічильник складається з відповідного датчика і двох показників (одного – в місцевому пульті управління брашпилем, другого – дистанційного репітера у ходовій рубці).

Відомі і широко використовуються електромеханічні лічильники з використанням сельсинів [3]. Привод сельсина-датчика в таких лічильниках здійснюється від зірочки брашпиля через циліндричні шестерні й черв'ячну передачу, приєднану гнучким валом до понижувального редуктора з великим передавальним числом. Сельсин-датчик одночасно є місцевим показником довжини витравленого ланцюга, оскільки поворот його вала разом з вказівною стрілкою фіксує цю довжину в метрах на циферблатній шкалі, вмонтованій в пульт керування брашпилем. Крім цього, сельсин-датчик приєднано електричною лінією зв'язку до сельсина-приймача з показником довжини, що знаходиться в ходовій рубці.

Основними недоліками механічних та електромеханічних лічильників є:

- висока вартість виготовлення через складність конструкції їх складових елементів;
- недостатня надійність і часті виходи з ладу кінематичної системи через фактори забруднення, підвищеної вологості повітря, попадання морської води, намерзання і т.п.;
- невисока точність;
- втрата працездатності при знеструмленні суднової мережі.

Метою даної роботи є удосконалення суднового брашпильного пристрою і підвищення його ефективності в цілому шляхом розробки високонадійного, високоточного і зручного при експлуатації цифрового безконтактного лічильника довжини витравленого якірного ланцюга.

Розроблюваною мікроконтролерною системою лічильників довжини (МКСЛД) оснащуються брашпильні пристрої лівого та правого борту (ЛБ та ПрБ). Структурна схема МКСЛД представлена на рис. 1.

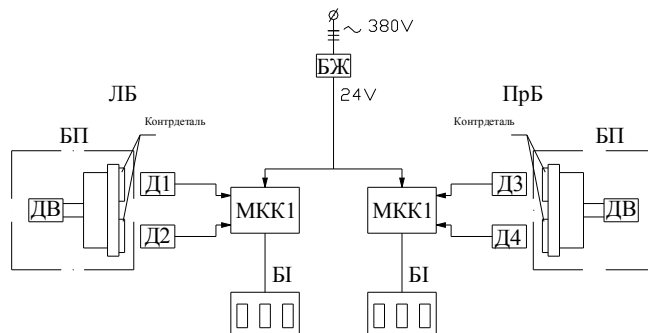


Рис. 1.

Прийняті скорочення: МКК1, МКК2 – мікроконтролерні комплекти; Д1, Д2, Д3, Д4 – безконтактні датчики положення роторів БП, жорстко зв'язаних з зірочками якірних ланцюгів; БІ – блоки індикації; БЖ – блок живлення; ДВ – приводні електродвигуни БП.

Система забезпечує:

- попереднє обнуління лічильників і індикаторів кнопками скидання на «0» при повністю втягнутому в ключ якорі;
- безконтактне вимірювання довжин витравлених якірних ланцюгів ЛБ та ПрБ у процесі їх витравлювання чи вибирання;
- цифрову індикацію довжин витравлених якірних ланцюгів ЛБ та ПрБ в метрах.

Робота комплексу МКСПД кожного борта заснована на виробленні двофазної системи рахункових імпульсів при витравлюванні (вибиранні) кожного ланцюга за допомогою двох зсунутих відносно один одного на 70° безконтактних індуктивних датчиків наближення релейного типу з наступним перерахунком числа імпульсів у довжину витравленого ланцюга і виводом даних на цифровий індикатор. Вироблення імпульсів датчиками відбувається в результаті обертання контрдеталей (зубців) ротора, жорстко сполученого із зірочкою БП, відносно нерухомо закріплених датчиків. Взаємне розташування ротора з контрдеталлями та нерухомих датчиків показано на рис 2, а, б.

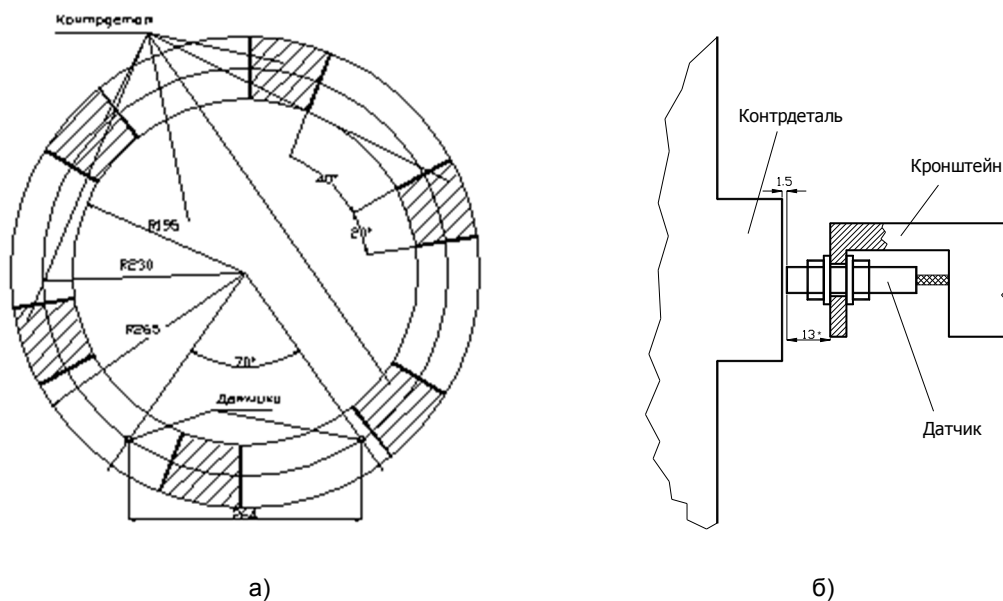


Рис. 2.

Двофазна система імпульсів, яка формується завдяки просторовому зсуву датчиків, дозволяє розпізнавати напрямок обертання зірочки брашпиля і тим самим переводити реверсивний лічильник у режим додавання чи віднімання. Часова діаграма імпульсних сигналів на виходах датчиків В1, В2 або, відповідно, В3 і В4 представлена на рис. 3.

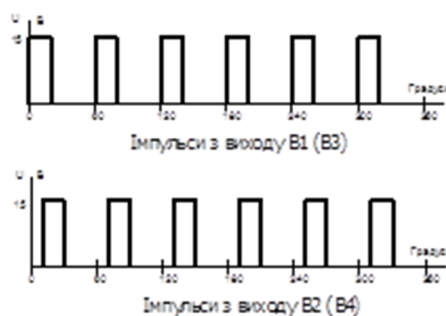


Рис. 3.

Зазначені імпульси надходять для наступної обробки відповідно на входи А0 і А4 мікроконтролерного комплексу, схема якого представлена на рис. 4. МКК складається з мікроконтролера DD1 типу P16F628 – 20I та трьохрозрядного блоку індикаторів на трьох світлодіодних матрицях типу SA08-11SRWA. Напруги живлення, необхідні для роботи датчиків і МКК формуються у блоці живлення, який містить стабілізатори напруги DA1 типу MC7815 та DA2 типу L7805. Вхід БЖ підключено до бортового джерела постійної напруги 24 В, яке в разі знесилення дублюється акумулятором, що працює в буферному режимі. Програмно МКК виконує функції компаратора, реверсивного перерахункового пристрою, реверсивного двійково-десятькового лічильника, дешифратора, динамічного цифрового індикатора. Алгоритм роботи МКСЛД передбачає також програмний захист системи від збоїв, викликаних імпульсними завадами, які можуть бути наведені в колах МКСЛД внаслідок комутації контактів в силовій схемі керування трьохшвидкісним асинхронним двигуном електропривода БП.

При підключенні МКСЛД відбувається її автоматичне обнуління. Крім того, у процесі експлуатації в разі необхідності можливе примусове обнуління системи при натисканні кнопки S1 «0».

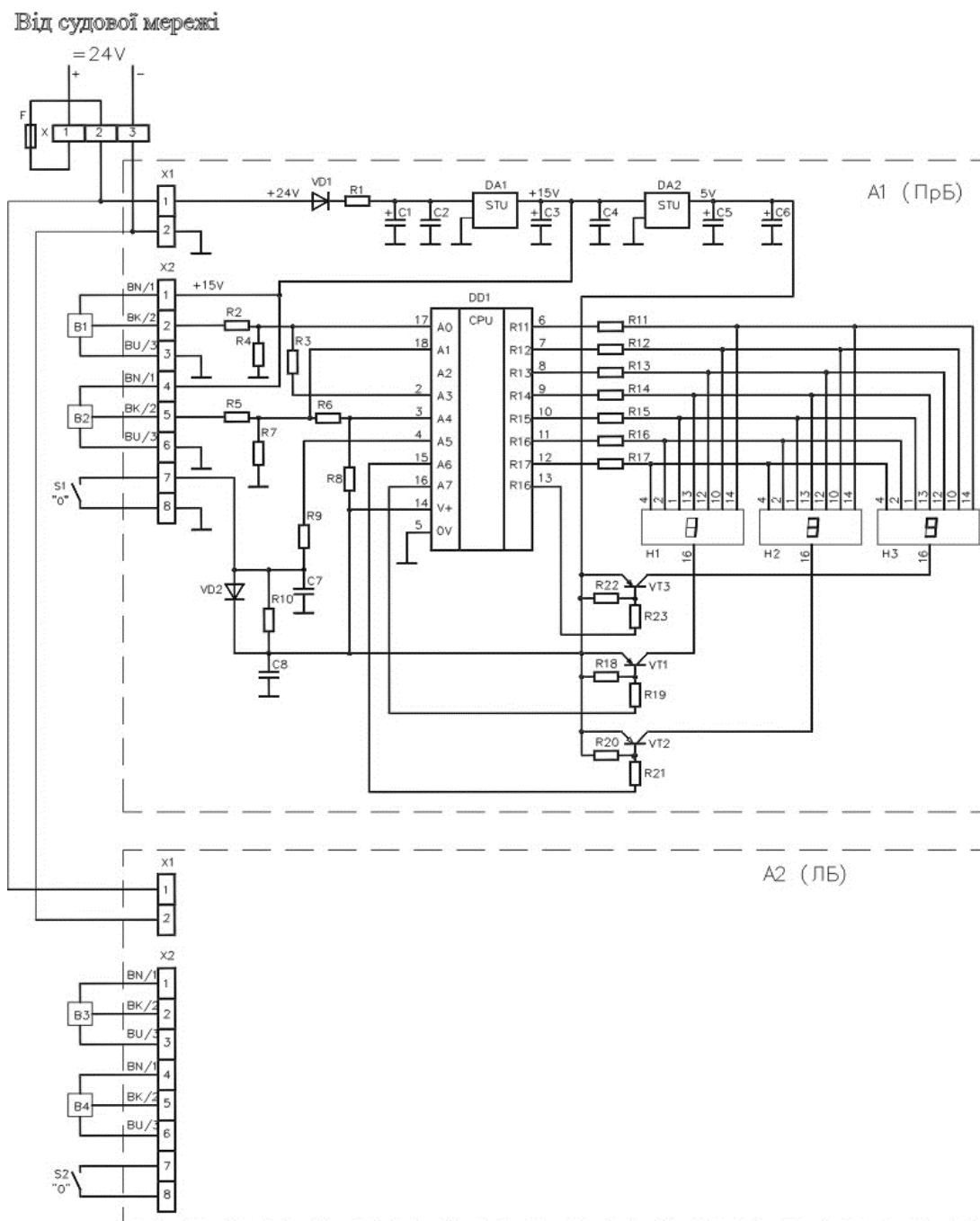


Рис. 4.

Точність вимірювання довжини витравленого якірного ланцюга $\pm 0,2$ м.

Точність індикації довжини витравленого якірного ланцюга ± 1 м.

Конструктивно МКСЛД виконується у вигляді приладу місцевого вимірювання (ПМВ) в металевому захисному корпусі для встановлення на відкритій частині судна в районі БП і приладу дистанційного вимірювання (ПДВ) в пластмасовому корпусі для встановлення в рульовій рубці. Від ПМВ до ПДВ інформаційні сигнали передаються по інтерфейсу типу «струмова петля». Прилади надійно працюють при температурі повітря від -25°C до $+45^{\circ}\text{C}$ при відносній вологості повітря $95\pm 3\%$ при температурі $+25^{\circ}\text{C}$.

Висновки. Запропоновано принцип побудови, схемотехнічне рішення та алгоритм керування високонадійного, високоточного і зручного при експлуатації цифрового безконтактного лічильника довжини витравленого якірного ланцюга для суднового брашпильного пристрою. Зазначену систему можна використовувати, крім вимірювання довжини, також і для одночасного контролю швидкості витравлювання за умови доповнення додатковим блоком індикаторів та відповідної зміни програми мікроконтролера.

Список використаних джерел

- 1 Шарлай Г.Н. Маневрирование и управление морским судном. Учебное пособие. – Владивосток: Моркнига, 2015. – 519 с.
2. Правила класифікації та побудови морських суден. Том 3. – К.: Регістр судноплавства України, 2020.
3. Фрейдзон И.Р. Судовые автоматизированные электроприводы и системы. – Л.: Судостроение, 1988. – 472 с.

УДК 629.33:629.3.048.8

Ізуйта В. О., Жук О. К., к.т.н.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

РОЗРОБКА АЛЬТЕРНАТИВНОЇ «РОЗУМНОЇ» СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИМИ ПРИСТРОЯМИ АВТОМОБІЛЯ

Аварії вночі стали дуже поширеними в наш час. Зазвичай автомобілі мають фари, які освітлюють дорогу перед транспортним засобом і не забезпечують освітлення при поворотах. Такі питання, як відсутність видимості, неможливість бачити предмети в повороті, стали для водіїв автомобілів справжньою проблемою під час подорожі вночі. Для подолання цих ситуацій було розроблено декілька механізмів, що дозволяють пом'якшити наслідки, в випадку аварії, але в той же час не було запропоновано великої кількості рішень для запобігання аварії ще до її виникнення. Тільки нещодавно відомі автовиробники почали встановлювати на свої автомобілі штатні системи адаптивного освітлення. Але ж при цьому слід зазначити, що більшість людей не міняє своє авто кожного року і не може собі дозволити такі інновації.

Адаптивні фари - це активна функція безпеки, розроблена для того, щоб зробити керування автомобілем вночі або в умовах поганого освітлення більш безпечним. Реалізується шляхом збільшення видимості в поворотах, на підйомах/спусках, а також під час звичайного руху містом, або за його межами [1].

Стандартні фари автомобільного транспортного засобу, при повороті продовжують світити прямо, висвітлюючи край дороги і залишаючи дорогу попереду вас у темряві. В свою чергу, адаптивні фари здійснюють керування напрямом світлового потоку при зміні траєкторії руху автомобіля, щоб освітити якомога більшу площу відповідної полоси дороги.

Аналогічно, коли транспортний засіб зі стандартними фарами наїжджає на пагорб (рис. 1), промені фари тимчасово спрямовуються вгору. Це ускладнює водіям можливість бачити дорогу попереду, а для зустрічних автомобілістів бачити транспортний засіб, що наближається, або навіть відбувається осліплення водія.



Рис. 1.

Адаптивні ж фари, на відміну від традиційних, використовують систему самовирівнювання, яка спрямовує промінь світла вгору або вниз, відповідно до положення автомобіля.

Концепція адаптивних фар не є новою у автомобілях високого класу, таких як Volvo, BMW, Audi тощо, де вже є досвід розвитку і використання відповідних технологій, але при цьому застосовуються досить затратні рішення. Ці транспортні засоби використовують досить дорогі датчики та пристрої, які здійснюють зміну кута освітлення. Завдяки цьому у таких автомобілях вартість адаптивного освітлення досягає тисячі доларів, а іноді і більше[2].

Спочатку системи адаптивного освітлення дороги покращували тільки видимість в поворотах. Пізніше встановлення відеокамери, надало можливість на основі зображення регулювати світловий промінь як у горизонтальній, так і у вертикальній площинах. З'явилась можливість регулювати дальнє світло так, щоб воно при постійному увімкненні не сліпило б зустрічний транспорт. Серед іменитих компаній, які займаються розробкою адаптивного освітлення, можна виділити Automotive Lighting, Hella та Valeo.

Рис. 2 відображує варіативність світлової плями, яка створюється системою, реалізованою в автомобілях BMW.



Рис. 2.

Самі блоки фар обладнані переважно лінзовою оптикою, так як рефлекторні відбивачі не здатні видавати контрольований вихідний світловий потік. У лінзу можуть бути вмонтовані як ксенонові, так і діодні лампи. Галогенові джерела світла не практикуються.

Ще кілька років тому перевага віддавалася ксенону, проте останнім часом лідерство у використанні набули світлодіоди. На думку автовиробників, таке світло більш яскраве і більш комфортне для сприйняття оком людини.

Незалежно від джерела світла, як ближній, так і дальній світлові пучки знаходяться в одній лінзі, а перемикання між режимами відбувається за рахунок спеціальної шторки.

Двигуни пристрою також вмонтовані в блок фари, вони шляхом механічного зсуву лінзи в різні сторони створюють ефект активної зміни напрямку світлового потоку [3].

Один з варіантів реалізації такого блоку фари [4] відображено на рис. 3.

Сучасний автомобіль повинен мати таку електронну систему, яка на основі алгоритмів, які враховують оточення та покази датчиків, за допомогою механізму адаптації, буде забезпечувати належне освітлення дороги та безпеку інших учасників дорожнього руху.

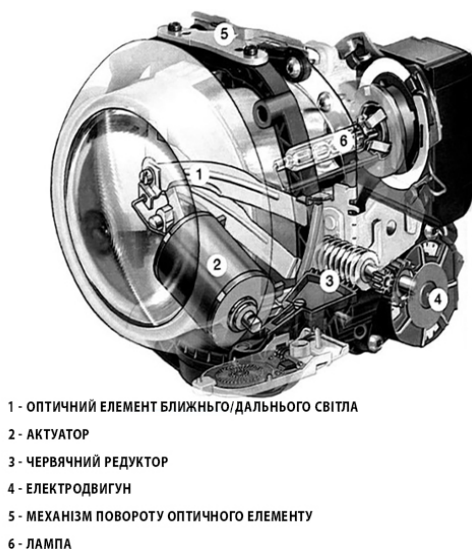


Рис. 3.

Об'єктом дослідження є освітлювальні прилади автомобіля і напрями підвищення їх ефективності. **Предметом** дослідження є технологія адаптації світлових приладів, яка забезпечує освітлення дороги попереду автомобіля. **Метою** роботи є підвищення безпеки та комфорту керування автомобілем в нічний час шляхом розробки та реалізації концептуального рішення по економічній модернізації освітлювальних пристроїв автомобіля з заміною власними силами існуючих пасивних фар адаптивними на базі доступних і порівняно дешевих компонентів. Для досягнення цієї мети потрібно розробити прилад, який буде керувати адаптацією, а також механізмів та пристроїв, за рахунок яких буде реалізуватися це керування (зміна напрямку, інтенсивності світлового потоку і т.д.).

Актуальність обумовлюється тим, що більшість автомобілів, які сьогодні рухаються дорогами, не мають подібної технології, а інтеграція такої технології може зробити рух дорогами більш безпечним не тільки для водія, а і для інших учасників руху.

Для того, щоб реалізувати таку систему необхідно попередньо визначити, які параметри потрібно враховувати, як отримувати ці параметри, а також як і за допомогою яких механізмів здійснювати керування освітленням. На рис. 4 зображено концептуальну схему адаптивного освітлення фар, за якою буде самостійно створена система «розумного» керування освітлювальними пристроями.



Рис. 4.

Призначення та характеристика окремих елементів схеми:

- 1) Блок керування – це безпосередньо контролер, який буде здійснювати обробку параметрів на вході та за допомогою алгоритмів буде на виході давати керуючий сигнал на механізм адаптації фар світлосигнальних пристроїв.
- 2) ЕБК (електронний блок керування) – штатний пристрій у автомобілі, який контролює та керує його електричними системами та підсистемами. На сучасних автомобілях, як правило, більшість систем, що керуються електронікою мають свої, індивідуальні ЕБК. Враховуючи велику кількість функцій, які здійснюються ЕБК, було вирішено використати певні можливості саме цього блоку для адаптивного освітлення.
- 3) Камера – встановлений в передній частині автомобілю пристрій. Він буде передаватиме відеопотік в блок керування, де той, в свою чергу, буде оброблятися за допомогою бібліотеки OpenCV (відкрита бібліотека комп'ютерного зору).
- 4) Датчики – первинні перетворювачі, що перетворюють контрольовану величину (тиск, температуру, частоту, швидкість, переміщення, напругу, електричний струм і тому подібне) в сигнал, зручний для виміру, передачі, перетворення, зберігання і реєстрації, а також для обробки. Якщо штатна комплектація автомобіля не передбачає датчиків, необхідних для адаптації світла, сигнал з яких надходить до ЕБК, то їх слід додати самостійно. Концептуально передбачається, що в системі обов'язково будуть такі датчики як датчик повороту керма, датчик швидкості, акселерометр, датчик дощу/туману та датчик освітлення.
- 5) Елементи керування освітлювальними приладами – під цим визначенням розуміються різні штатні перемикачі, наприклад перемикачі поворотів, світла, протитуманних фар і т.д.
- 6) Механізм адаптації фар – це механізм, який буде на основі керуючого сигналу, змінювати кути під якими світловий потік попадає на дорогу. Цей механізм може бути реалізований декількома способами, наприклад за рахунок світлодіодної матриці, за рахунок руху лінз або рефлектора і т.д.

Концепція такої системи передбачає використання контролера, який буде здійснювати обробку вхідних даних та керування виконавчими механізмами. В розроблюваній системі буде використовуватись одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 4. (рис. 5)



Рис. 5.

Для того, щоб реалізувати трекінг (відстеження) зустрічних транспортних засобів було вирішено використати камеру нічного бачення від Waveshare (рис. 6), яка апаратно і програмно сумісна для експлуатації разом з Raspberry Pi 4. Передбачається як модуль-приставка для даного одноплатного комп'ютера.



Рис. 6

Для здійснення обробки відеопотоку з камери використовується бібліотека функцій та алгоритмів комп'ютерного зору OpenCV.

OpenCV (англ. Open Source Computer Vision Library, бібліотека комп'ютерного зору з відкритим кодом) — бібліотека функцій та алгоритмів комп'ютерного зору, обробки зображень і чисельних алгоритмів загального призначення з відкритим кодом. Бібліотека надає засоби для обробки і аналізу вмісту зображень, у тому числі розпізнавання об'єктів на фотографіях (наприклад, осіб і фігур людей, тексту тощо), відстеження руху об'єктів, перетворення зображень, застосування методів машинного навчання і виявлення загальних елементів на різних зображеннях [5].

Щодо датчиків, окрім обов'язкових таких як датчик повороту керма, датчик швидкості, акселерометр, датчик дощу/туману було вирішено додати до системи також датчик освітлення, як додатковий до камери, для підвищення стабільності, а також для відстеження освітлення.

Також слід зазначити, що для отримання інформації про положення автомобіля в просторі можна використати акселерометр та гіроскоп. Наприклад, представлений на рис. 7 компактний та легкий модуль 3-х осьового акселерометра і 3-х осьового гіроскопа типу MPU-6050, який працює по протоколу I2C (TWI). Даний датчик відмінно підходить для визначення положення в просторі та коштує недорого.

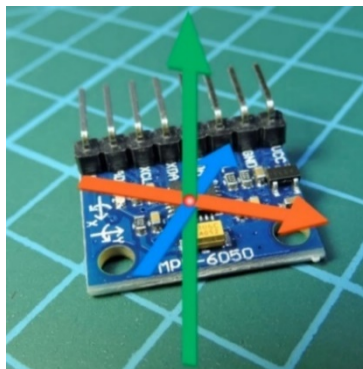


Рис. 7.

Використання окремо акселерометра або окремо гіроскопа не є ефективним. Прийнятний результат дає лише урахування показань обох датчиків за умови їх калібровки та фільтрації [6].

Виконавчий механізму згідно з керуючим сигналом буде здійснювати керування кутами падіння світла за рахунок повороту лінз. Якщо розміри фари дозволяють встановити дві лінзи, тоді необхідно використати таку можливість. Це дає додаткові можливості для здійснення комфортного та безпечного освітлення.

Механізм повороту лінз складається з двох сервоприводів, які будуть обертають лінзи навколо осей X та Y на визначений блоком керування кут (рис. 8). Практична реалізація такого механізму є однією з найбільш складних задач при створенні альтернативних адаптивних фар, яка вимагає окремого вирішення.

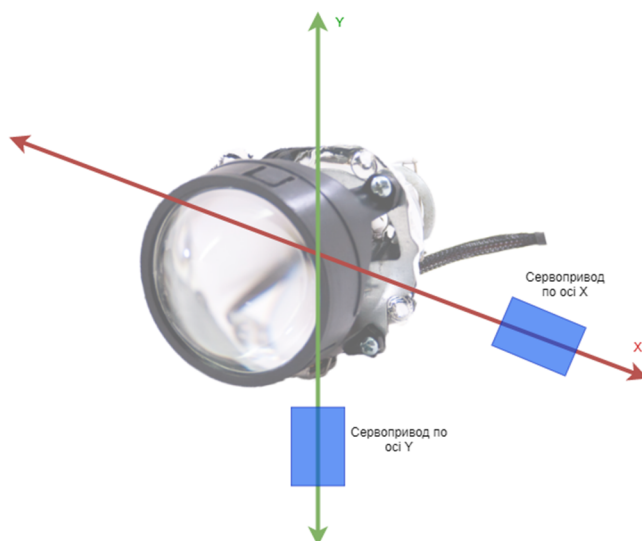


Рис. 8.

Висновки. Таким чином, запропоновано концептуальне рішення економічної модернізації освітлювальних пристроїв автомобіля з заміною існуючих пасивних фар адаптивними на базі доступних і порівняно дешевих компонентів. Розроблена система забезпечує адаптацію фар на основі алгоритмів, які враховують інформацію, одержувану від камери, датчиків та елементів керування, і є ефективним засобом запобігання аварій у нічний час. Така система може бути встановлена в автомобілях нижчого цінового діапазону, в яких вона відсутня як штатна.

Список використаних джерел

1. MeftahHrairi and Anwar B. Abu Bakar, "Development of an Adaptive Headlamp Systems." International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE 2010), Kuala Lumpur, Malaysia, 11-13 May 2010
2. [www.bmw-motorrad.com/Adaptive Headlight System-lighting the way.pdf](http://www.bmw-motorrad.com/Adaptive-Headlight-System-lighting-the-way.pdf) - Електронний ресурс
3. www.brainonboard.ca/safety_features/driver_assistance_technology_adaptive_headlights.php - Електронний ресурс
4. <https://avtoskill.ru/remont-obsluzhivaniye/adaptivnyie-faryi-cto-eto-kak-rabotayut-plyusyi-i-minusyi.html> - Електронний ресурс
5. Kenneth Dawson-Howe, A Practical Introduction to Computer Vision with OpenCV, March 20, 2014, 234 pages
6. http://www.avislab.com/blog/mpu-6050_ru/ - Електронний ресурс

СЕКЦІЯ 2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

УДК 621.314.2

Поліщук О. В., Дробко В. А.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

УДОСКОНАЛЕННЯ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ТЕПЛО І ВОДОПОСТАЧАННЯ

Системи водопостачання і тепlopостачання відносяться до числа найбільш ресурсоємних технологічних об'єктів в комунальному господарстві та промисловості. Втрати через неекономічне регулювання становлять для міських водопровідних станцій 10-15% сумарного споживання електроенергії. Насосні установки щорічно витрачають близько 20% електроенергії, що виробляється енергосистемами республіки. В даний час велика частина насосних установок працюють неекономічно. Втрати електроенергії складають 10...15%, а іноді досягають 20...25% споживаної електроенергії. Актуальність теми роботи обумовлена гостротою проблеми енергозбереження в промисловості і комунальному господарстві України в системах тепло і водопостачання.

Мета роботи – удосконалення електроприводу насосних станцій шляхом впровадження частотного управління двигуном і стабілізації напору.

Недоліки дросельного регулювання полягають у введенні додаткового опору в напірний трубопровід системи, завдяки чому характеристика $Q-H$ мережі піднімається більш круто (рис. 1) і перетинає характеристику насоса в режимній точці 2, що відповідає необхідній подачі Q_3 . При цьому необхідний напір у системі дорівнює H_3 , а насос розвиває напір H_2 . ККД насосної установки зменшується зі збільшення різниці між напором, що розвиває насосом, і напором, необхідним у мережі.

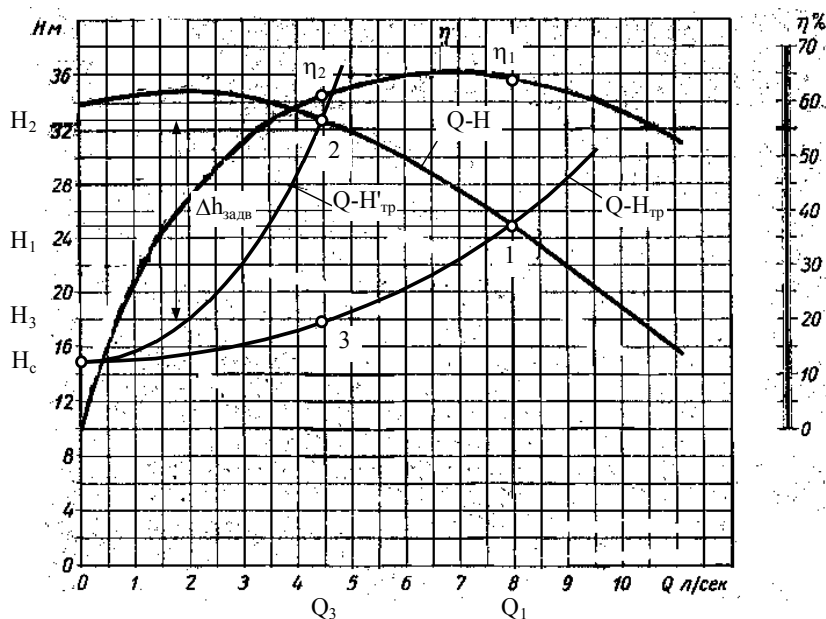


Рис. 1. Характеристика системи "насос-мережа" при регулюванні роботи дроселюванням

Застосування економічних методів регулювання, заснованих на зміні частоти обертання робочих коліс насоса, дозволяє значно скоротити втрати електроенергії в насосних установках. На підставі прийнятих раніше рішень про систему електроприводу і реалізації її автоматизації можна скласти функціональну схему електроприводу, представлену на рис.2. На рисунку позначено: ПУ – пульт керування, БПУ – блок програмного управління, СУЕП – система керування електроприводом, В – випрямляч, АІН – автономний інвертор напруги, М – двигун, Н – відцентровий насос, Д – датчик тиску. Система автоматичного керування електроприводом складається з об'єкта управління і регулятора. Під об'єктом управління ми розуміємо сукупність електродвигуна, перетворювача енергії, що живить двигун, і робочого органу, тобто в даному випадку відцентрового насоса, з'єднаного з валом двигуна через муфту. Завдання з розрахунку автоматичної системи управління даними електроприводом полягає у виборі, розрахунку та реалізації регулятора. Регульована величина в даному випадку одна - натиск рідини в мережі.

Регулятор реалізований в комплектному перетворювачі, обраному нами для живлення двигуна, нам залишається тільки розрахувати і задати параметри і тип регулятора.

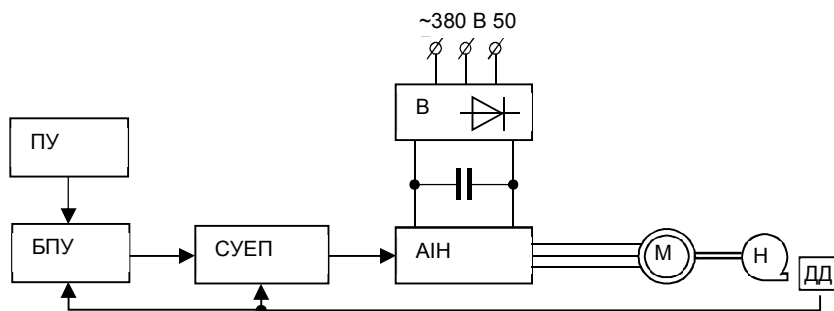


Рис. 2. Функціональна схема

Система управління дозволяє уникнути гідравлічних і пневматичних ударів у водопровідній мережі шляхом підтримки на заданому необхідному рівні напору води. Наявність датчиків температури і різниці тиску (витрати) дозволяє розрахувати напір, необхідний для забезпечення необхідної витрати, що дозволяє зробити систему більш економічною.

На рисунках 3 і 4 наведені результати моделювання перехідних процесів напору при зміні витрати за прямокутним і трикутним законом відповідно.

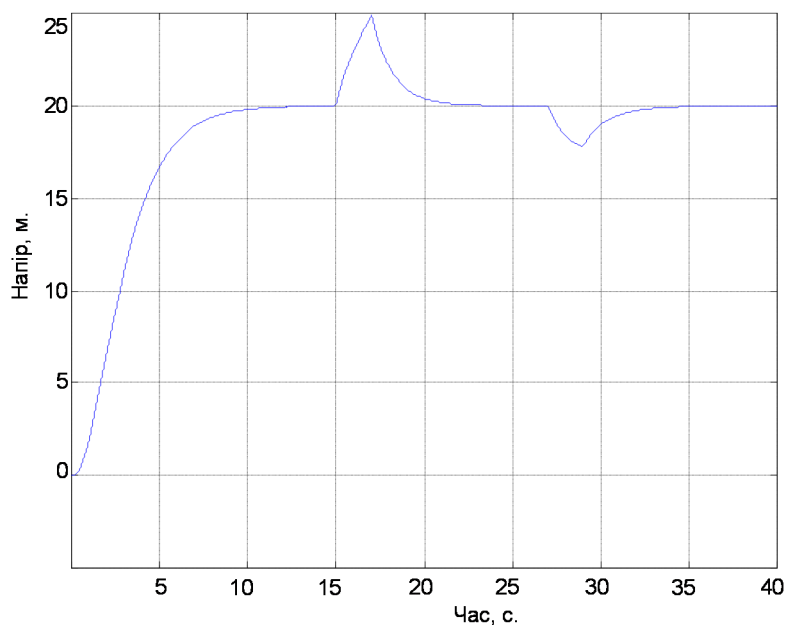


Рис. 3. Перехідний процес напору при зміні витрати за прямокутним законом

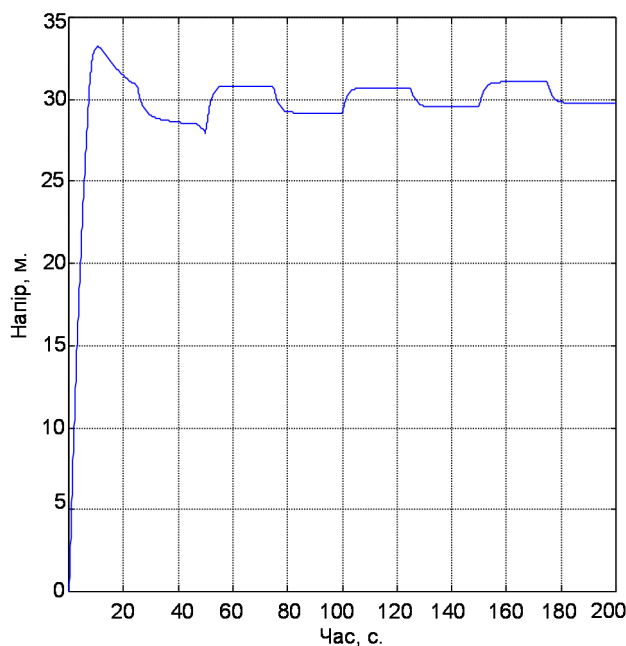


Рис. 4. Перехідний процес напору при зміні витрати за трикутним законом

З наведених графіків видно, що астатична система регулювання не має статичної похибки, динамічна похибка при трикутній формі зміни витрати дорівнює 3%.

Висновки. 1. Доведена доцільність застосування частотно-регульованого електроприводу систем водопостачання. В такому випадку зникають втрати через неекономічне регулювання становлять для міських водопровідних станцій 10-15% сумарного споживання електроенергії.

2. При коливаннях витрати в два рази відхилення напору складає приблизно 5 %.

Список використаних джерел

1. Насосні та повітродувні станції : навч. посібник / Т. О. Шевченко, Ю. В. Ярошенко, М. М. Яковенко, В. М. Беляєва ; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Х. : ХНУМГ, 2014. – 191 с.
2. Казачковський М.М. Комплексні електроприводи: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: НГА України, 2003. – 225 с
3. Волотковский С.А., Емец В.И., Козло В.К. и др. Типовой электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. - Киев: Вища школа, 1983. -312 с.

УДК 621.314.2

Іванченко В. В.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА

Фрезерні верстати, як і металорізальні верстати інших типів, є поширеними виробничими механізмами, призначеними для обробки металів різанням. Сучасний фрезерний верстат обладнаний складною системою автоматизованого електроприводу, яку поділяють привід головного руху і привід подачі. Надійна і синхронізована робота приводів забезпечує якість продукції, що випускається. Тому при проектуванні автоматизованого електроприводу верстатів одним із важливих завдань є правильний вибір електродвигуна по потужності і розробка системи керування.

Актуальність роботи полягає в наступному. На деяких верстатах і до теперішнього часу застосовують трифазні одно- і двошвидкісні асинхронні двигуни з чисто механічною системою регулювання швидкості. Перемикання шестерень коробки швидкостей здійснюється за допомогою електромагнітних фрикційних муфт. Ступеневе механічне регулювання кутової швидкості не забезпечує для різних діаметрів інструменту обробки найвигіднішу швидкість різання. Отже, верстат не може забезпечити високу продуктивність при різних діаметрах інструменту. Крім того, коробка передач являє собою досить складну і громіздку конструкцію, вартість якої зростає зі збільшенням числа ступенів. Мета роботи – розробка електроприводу, який не містить коробки швидкостей і забезпечує стабілізацію швидкості різання.

Для створення глибоко регульованого високодинамічного електроприводу найбільш доцільним методом управління є векторне управління з орієнтацією по вектору потокозчеплення ротора. Функціональна схема такого ЕП в цьому випадку має найменше число перехресних зв'язків, а вираз моменту асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором і швидкості порівняно прості. При цьому найбільш просто здійснюється регулювання швидкості при стабілізації потокозчеплення ротора. Функціональна схема автоматизованого електроприводу фрезерного верстата 6Н81 представлена на рис. 1, прийняті наступні позначення: ПФ1, ПФ2 - перетворювачі фаз; БПК1, БПК2 - блоки перетворення координат; БВМ - блок виділення модуля потокозчеплення ротора; ТА - тригонометричний аналізатор; БК - блок корекції; РП, РС, РТ1, РТ2 – відповідно регулятори потокозчеплення ψ_r , швидкості ω_r і проєкцій узагальненого вектора струму статора i_{sa} , i_{sb} .

В результаті розрахунку режимів різання для типової деталі вибрали електродвигун потужністю 4 кВт. Вибрали комплектний перетворювач MIDIMASTER Vector фірми Siemens (Німеччина). Розробили математичну модель автоматизованого електроприводу, по якій зробили синтез регуляторів системи управління. За математичної моделі склали в середовищі MATLAB / Simulink імітаційну модель, по якій зробили розрахунок перехідних процесів при збільшенні моменту на початку фрезерування до номінального. Результати моделювання швидкості наведені на рис. 2.

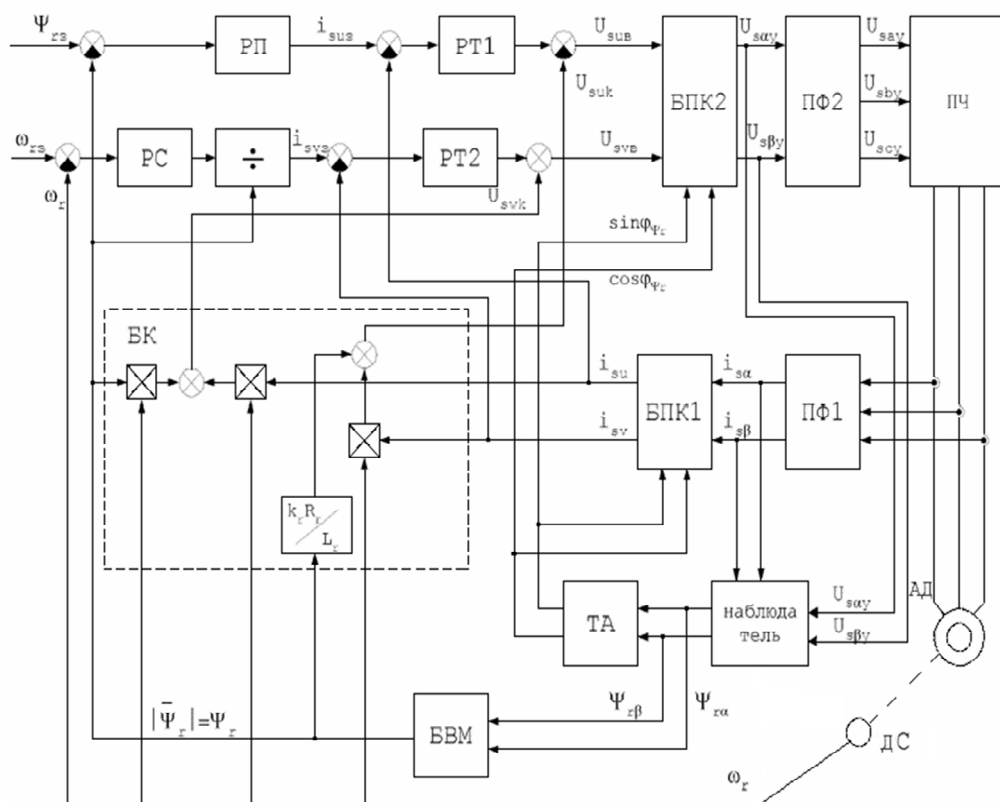


Рис. 1. Функціональна схема автоматизованого електроприводу

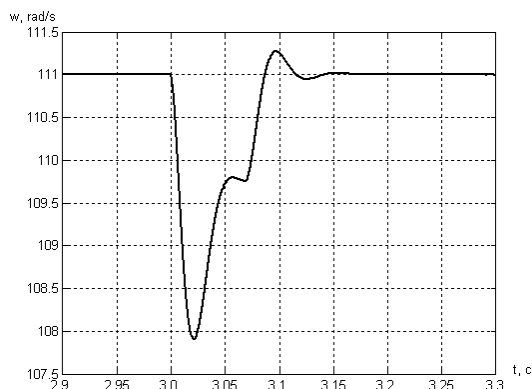


Рис. 2. Результати моделювання швидкості.

Висновки. В роботі доведені переваги використання в заміні нерегульованого АТ з коробкою швидкостей системи ПЧ-АД з векторним керуванням. В результаті моделювання визначили, що величина перерегулювання швидкості під час пуску і зміни навантаження не перевищує 3%.

Список використаних джерел

1. Черных И.В. моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink. / Черных И.В. – М: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288с.
2. Электроприводы главного движения металлообрабатывающих станков с ЧПУ / Г.И. Андреев, М.А. Босинзон, А.И. Кондриков. – М.: Машиностроение, 2009. 152 с.

УДК 621.314.2

Васильев І. І.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ГОЛОВНОГО РУХУ ПОВЗДОЖНЬО-СТРУГАЛЬНОГО ВЕРСТАТА

В сучасних важких та унікальних верстатах число електричних машин досягає декількох десятків. Такі верстати – це високо розвинуті машини, що включають у себе велику кількість механізмів й використовують механічні, електричні, електронні, гідравлічні, пневматичні й інші методи здійснення рухів й керування циклом. Прикладом такого верстата є універсальний повздовжньо-стругальний верстат 7А210. У верстата старої конструкції в якості двигуна головного руху використовувався двигун постійного струму. Актуальність даної роботи полягає у розробці сучасного електропривода на базі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, як найбільш дешевого й надійного в роботі.

Мета даної роботи полягає у розробці й дослідженню системи автоматичного регулювання процесом обробки деталі на стругальному верстаті.

Користуючись двома основними показниками, а саме максимальною швидкістю обертання вала та максимальною потужністю за довідником вибираємо асинхронний електродвигун марки 4А225М4УЗ. Для вибраного електродвигуна потужністю 55 кВт вибираємо перетворювач частоти фірми “Danfoss”, а саме – моделі VLT 5052. Теоретично визначена структурна схема асинхронного двигуна, що складається із двох паралельно зв'язаних апериодичних ланок. На ПЕОМ розраховані залежності коефіцієнтів передачі та постійних часу асинхронного двигуна у діапазоні частот 20-80 Гц та діапазоні напруг 180-260 В;

Для забезпечення постійної швидкості вихідного вала електродвигуна запропонована система автоматичного керування, структурна схема якої приведена на рисунку 1.

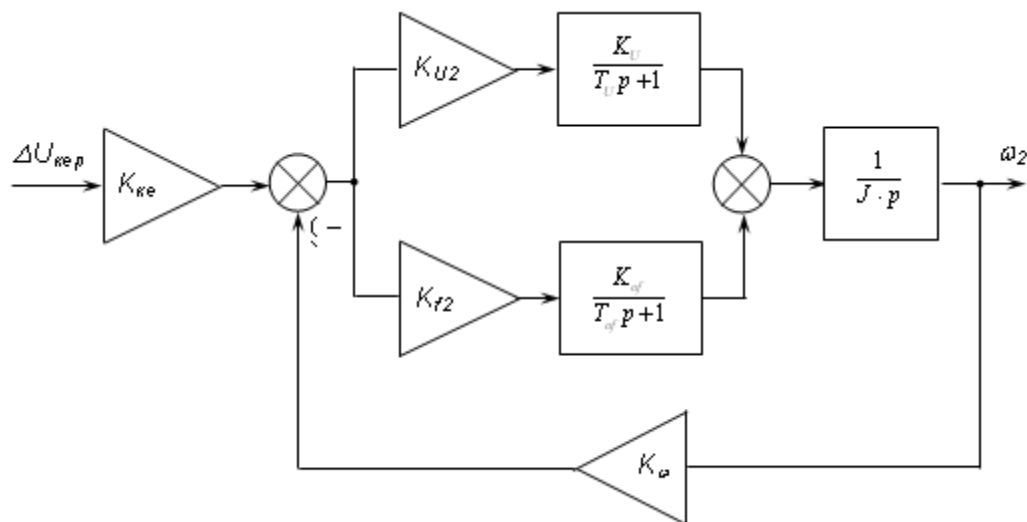


Рис. 1. Спрощена структурна схема системи автоматичного керування

Позначенням на схемі відповідають: $\Delta U_{\text{кер}}$ – задаючий сигнал; $K_{\text{кер}}$ – коефіцієнт, що корегує значення задаючого сигналу; K_U – коефіцієнт передачі регулятора швидкості за напругою; T_U – стала часу регулятора швидкості за напругою; K_{of} – коефіцієнт передачі регулятора швидкості за частотою; T_{of} – стала часу регулятора швид-

кості за частотою; J – момент інерції вала двигуна; K_{ω} – коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю; K_{U2} – коефіцієнт, що забезпечує постійне відношення керуючої напруги до керуючої частоти; K_{f2} – коефіцієнт, що складається із двох передаточних функцій. Проведені дослідження якості перехідного процесу при зміні коефіцієнта зворотного зв'язку за швидкістю, приведені графічні залежності зміни значення часу регулювання та перерегулювання, вибрані значення, що найбільше задовільняють умовам завдання до дипломного проекту. В результаті моделювання швидкості отримана перехідна характеристика $h(t)$, яка показана на рис. 2.

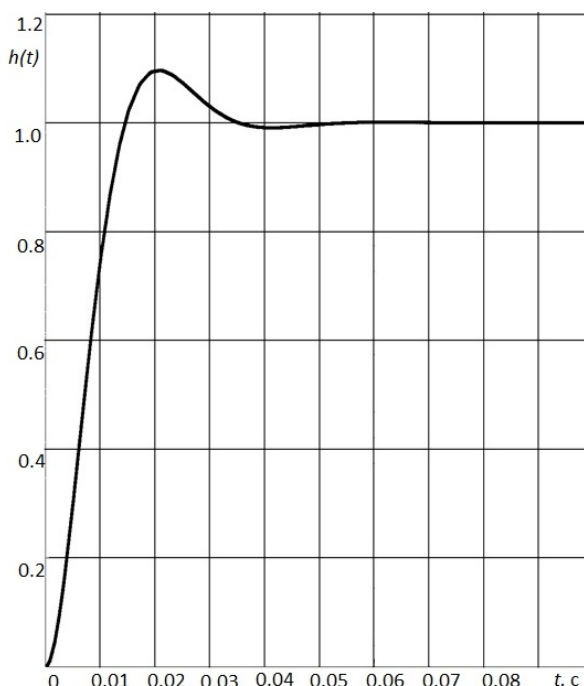


Рис. 2. Графік перехідного процесу

Висновки. В роботі вибрана система автоматичного керування електроприводом із застосуванням зворотного зв'язку за швидкістю, на основі якої був змодельований перехідний процес системи. Результати моделювання доводять якість розробленої системи керування. Перерегулювання системи автоматичного керування складає 9,6%, час регулювання – 0,028 с.

Список використаних джерел

1. Галай М.В. Теорія автоматичного керування: Навчальний посібник для технічних вузів. – Полтава.: Видавництва "Полтава". 1998. – 470 с.
2. Преобразователи частоты серии VLT 5000. Руководство по эксплуатации. Danfoss Corp. 1995.

УДК 621.314.2

Кравчук В. П.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРИВОДА ПОДАЧІ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА

Необхідність нарощення випуску продукції промислових підприємств різних типів, зменшення її собівартості, термінів окупності та відповідності новим потребам сьогодення ставить своєю задачею підвищення технічного рівня виробничого обладнання за рахунок впровадження нових технологій. Це впровадження може бути як у вигляді переоснащення підприємств сучасною технікою (наприклад, заміною старих моделей верстатів новітніми), так і у вигляді модернізації вже встановленого промислового обладнання (заміна окремих вузлів обладнання на сучасні). Тому, питання модернізації промислового обладнання завжди було актуальним і залишається таким по сьогодення.

Металорізальний верстат — машина для розмірної обробки заготовок в основному шляхом зняття стружки. Крім металевих заготовок зі сталі та чавуну на верстатах обробляють також деталі з кольорових сплавів, пластмас й інших матеріалів. Привод подачі необхідний для переміщення інструмента відносно заготовки для форму-

вання оброблюваної поверхні. У переважній більшості верстатів привод подачі передає вузлу верстата прямолінійний рух. В роботі розроблена система слідкуючого електропривода з синхронним двигуном, для якої важливе відпрацювання заданої траєкторії без помилки. Структурна схема контуру регулювання положенням показана на рис. 1.

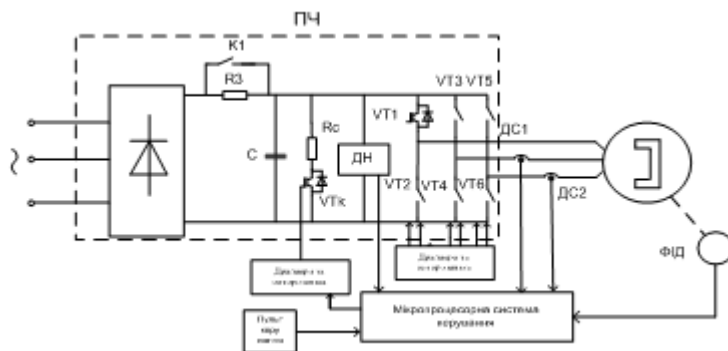


Рис. 1. Структурна схема електроприводу

Спроекована трьохконтурна система автоматичного керування слідкуючого електропривода з синхронним двигуном побудована за принципом підпорядкованого регулювання координат. Вона включає внутрішній контур струму, настроєний на модульний оптимум, внутрішній контур швидкості, настроєний на модульний оптимум і зовнішній контур положення, настроєний по методу частотної декомпозиції.

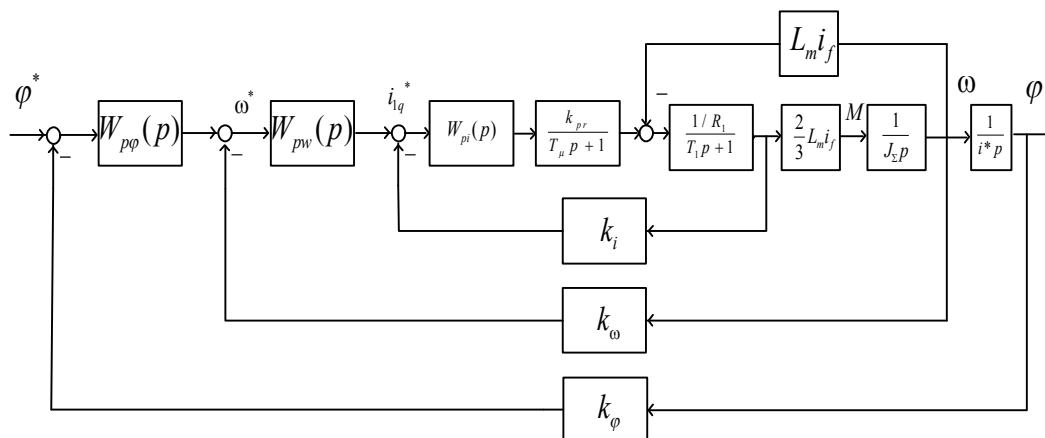


Рис. 2. Функціональна схема системи керування

Висновки. Результати моделювання доводять якість розробленої системи керування. При аналізі перехідних процесів отримані наступні показники якості:

- час перехідного процесу по швидкості 0,16 с
- величина перерегулювання
- максимальна помилка відпрацювання положення становить 1,5 рад
- перерегулювання струму становить 30%
- час перехідного процесу в контурі струму рівний 0,06 с

Список використаних джерел

1. Галай М.В. Теорія автоматичного керування: Навчальний посібник для технічних вузів. – Полтава.: Видавництва "Полтава". 1998. – 470 с.
2. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник /Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с
3. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Учеб. пособие, подгот. проф., д.т.н. Радимов С. Н., - Одесса, 2007

УДК 621.314.2

Фарзулаєв А. А.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ЕЛЕКТРОПРИВОД СТРИЧКОВОГО КОНВЕЄРА З ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ЧАСТОТИ

Актуальність роботи полягає в наступному. Вантажопотоки, що надходять на стрічки конвеєрів відвалоутворювача, буртоукладника, коренезбиральної машини тощо, характеризуються великою нерівномірністю. Мінливість навантаження привідної системи в часі обумовлює виникнення механічних коливань, що створює умови для втомного руйнування стрічки, деталей та вузлів приводів. Це вимагає раціонального розташування приводів конвеєра та автоматичного адаптування їх параметрів до змінних режимів роботи. За узагальненими даними потенціал зниження витрат електроенергії на конвеєрному транспорті становить 40-50%. Розрахунки показують, що впровадження перетворювачів частоти та систем регулювання швидкості руху стрічки дозволяють знизити витрати на 28-35%. Крім того, однією з найбільш поширених причин простоїв конвеєрів є пориви стрічки і несправності елементів приводу. причиною цього є динамічні перевантаження, що виникають під час запуску конвеєра, що зайвий раз підтверджує необхідність оптимізації процесу пуску.

Застосування одного зворотного зв'язку в електроприводі не дає високих статичних і динамічних показників. Поліпшення характеристик електроприводів привело до того, що почали з'являтися електроприводи з декількома зворотними зв'язками з наявністю декількох контурів, кількість яких відповідала кількості контрольованих параметрів, таких як струм, напруга якоря, швидкість обертання двигуна, положення вала приводного механізму та інші. Електропривод з двома зворотними зв'язками по току і швидкості зображений на (рис. 1). На вході регулятора кожного з контурів порівнюються сигнали, пропорційні заданому і дійсному значенням вихідної величини даного контуру, а вихідна напруга регулятора служить згодом сигналом для подальшого контуру. Системи, побудовані за таким принципом, називають системами підлеглого регулювання.



Рис. 1. Електропривод з зворотними зв'язками по току і швидкості

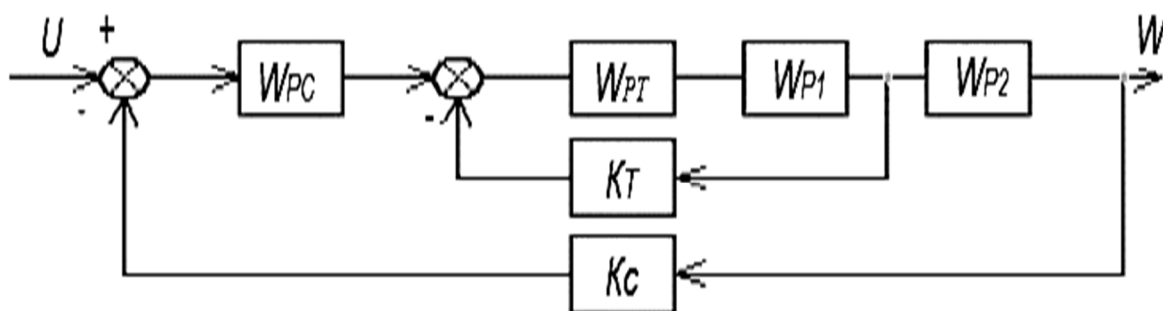


Рис. 2. Система регулювання електроприводу

Згідно з структурною схемою електропривода була розроблена система керування (див. рис. 2). Регулятор будь-якого контуру є в більшості випадків послідовною коригуючою ланкою. Передавальна функція регулятора визначається структурою і параметрами відповідної ланки об'єкта регулювання, а також критерієм оптимізації цього контуру. Кожен внутрішній контур регулювання підлягає оптимізації. Тобто такого вибору параметрів регулятора, при якому задовольняється задана якість регулювання. Під заданою якістю регулювання розуміється перехідний процес при ступінчастому вхідному сигналі, що характеризує певним перерегулюванням і швидкодією. Найбільшого поширення набули два критерії оптимізації: модульний і симетричний.

Контур стабілізації завантаження безперервного транспорту для силучих вантажів з урахуванням запропонованої моделі електромеханічної системи прийме вигляд, представлений на рис.3

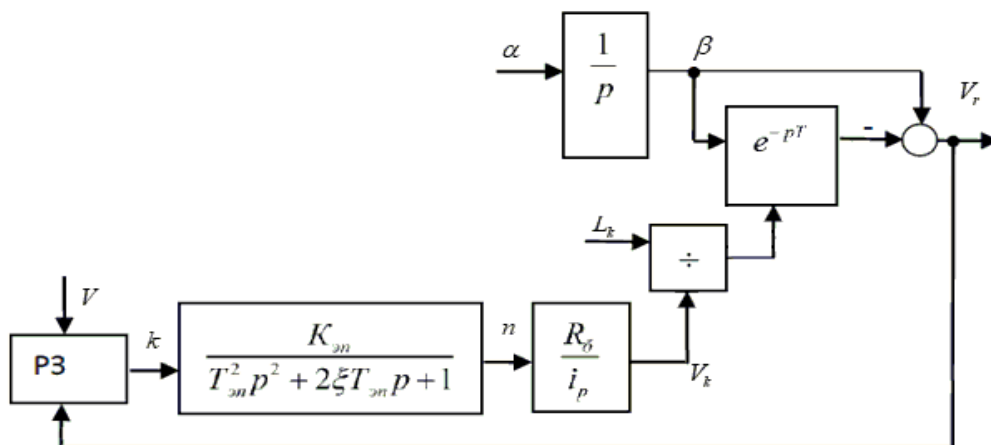


Рис. 3. Схема контуру стабілізації завантаження конвеєра

На рис. 3.5 введено наступні позначення: V, V_r - заданий та реальний об'єм вантажу на конвеєрі; k - керуючий вплив з виходу регулятора завантаження; n - частота обертання валу двигуна; V_k - швидкість руху стрічки конвеєра; L_k - довжина конвеєра; α - миттєва кількість вантажу, що надходить на конвеєр; β - кількість вантажу, що завантажуються на конвеєр; R_g - радіус приводного барабана; i_p - передавальне число редуктора; K_m, ξ, T_m - параметри електромеханічної системи конвеєра. Дослідження динамічних характеристик контуру регулювання завантаження було проведено методом цифрового моделювання із застосуванням пакета MATLAB і його додатка Simulink.

Висновки. Використання регулювання завантаження за рахунок зміни швидкості руху стрічки конвеєра пропорційно до надходжуючого на неї вантажопотоку дозволило розробити алгоритм управління, що забезпечує оптимальну якість управління. Запропонований підхід до формування контуру регулювання завантаження передбачає використання датчиків обсягу силучого вантажу, що підключаються до контролера по одному з промислових інтерфейсів.

Список використаних джерел

1. Теория и расчет ленточных конвейеров / Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Машиностроение, 1987. — 336 с
2. Монастирський В.Ф. Визначення показників ефективності функціонування системи конвеєрного транспорту / Монастирський В.Ф., Максютенко В.Ю., Кирия Р.В. - Гірський журнал № 9. 2009 - с. 82-87.
3. Принципи побудови систем підпорядкованого регулювання в електроприводах [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://lektsii.com>
4. Грабко В. В. Системи керування електроприводами. Розрахунок системи підпорядкованого керування електроприводом стрічкового конвеєру. Курсове та дипломне проектування, навчальний посібник / Грабко В. В., Розводюк М. П., Грабко В. В. — Вінниця : ВНТУ. — 2010. — 89 с.
5. Торопов А.В. Квазиоптимальное управление загрузкой конвейера на основе минимаксного критерия качества / Торопов А.В., Торопова Л.В. // ISSN 1813-5420 (Print). Энергетика: економіка, технології, екологія. 2018. № 1. —2018. — 125–129 с.

УДК 621.3

Маннов В. Г.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОБОТИ ГРЕБНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Актуальність роботи. Задачею математичного моделювання є можливість швидкого та безпечного аналізу роботи будь-якої системи. При розробці або модернізації систем керування першим етапом проведення експериментів є саме математичне моделювання їх роботи. Це дає змогу прискорити сам процес налаштування, а також зменшить витрати розробку в цілому. Тому створення математичної моделі роботи системи є важливою складовою розробки та удосконаленню систем керування.

Системи генератор - двигун (Г-Д) постійного струму застосовуються в судновому електроприводі для забезпечення особливо великого діапазону регулювання, отримання спеціальних механічних характеристик зі строго обмеженням і регулюванням пусковим моментом.

Моделювання роботи електроприводу в системі генератор-двигун представлено недостатньо, оскільки при моделюванні гребного електроприводу не враховується робота генератора постійного струму [1] або в математичній моделі [2] слабо розкрито моделювання навантаження на електропривод.

Мета роботи розробити математичну модель гребного електропривода системи генератор-двигун з динамічною зміною опору гребного гвинта в залежності від швидкості руху судна, з системою керування – регулювання генератора величиною магнітного потоку.

Викладення основного матеріалу. Математична модель роботи гребного електроприводу включає в себе наступні елементи (рис. 1): джерело живлення (ДЖ), гребний електродвигун (ГЕ), гребний гвинт (ГГ), корпус судна (КС).

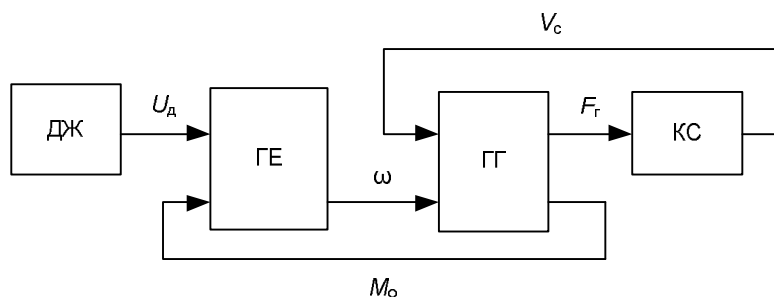


Рис. 1

В якості ДЖ використовується двигун постійного струму в генераторному режимі. Регулювання напруги проходить за допомогою регулювання збудження генератора. Таким чином динаміка роботи генератора постійного струму описується рівняннями роботи якоря та обмотки збудження:

$$L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} = c\Phi \cdot \omega - (R_{\text{я}} + R_{\text{н}}) \cdot i_{\text{я}};$$

$$L_{\text{в}} \frac{di_{\text{в}}}{dt} = U_{\text{в}} - R_{\text{в}} \cdot i_{\text{в}};$$

$$c\Phi = f(i_{\text{в}});$$

де $L_{\text{я}}$, $L_{\text{в}}$ – індуктивність якоря та обмотки збудження; $c\Phi$ – коефіцієнт намагнічування; $R_{\text{я}}$, $R_{\text{в}}$, $R_{\text{н}}$ – опір якоря, обмотки збудження та навантаження; ω – частота обертання, $U_{\text{в}}$ – напруга обмотки збудження; $i_{\text{я}}$, $i_{\text{в}}$ – миттєве значення електричного струму якоря та обмотки збудження.

В якості ГЕ використовується двигун постійного струму з незалежним збудженням. Тому його математична модель описується диференціальними рівняннями:

$$L \frac{di}{dt} = U_{\text{д}} - R_{\text{я}} \cdot i - c\Phi \cdot \omega;$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - \frac{Q}{K};$$

$$M = c\Phi \cdot i;$$

де L – індуктивність якоря; i – миттєве значення електричного струму якоря; U_d – напруга двигуна; R_a – опір якоря; $c\Phi$ – електромагнітні параметри; ω – частота обертання ГЕ; J – сумарний момент інерції, приведений до ГГ; M – рушійний момент ГЕ; Q – гальмівний момент ГГ; K – коефіцієнт передачі редуктора.

Математична модель роботи гребного гвинта представлена наступними рівняннями [3]:

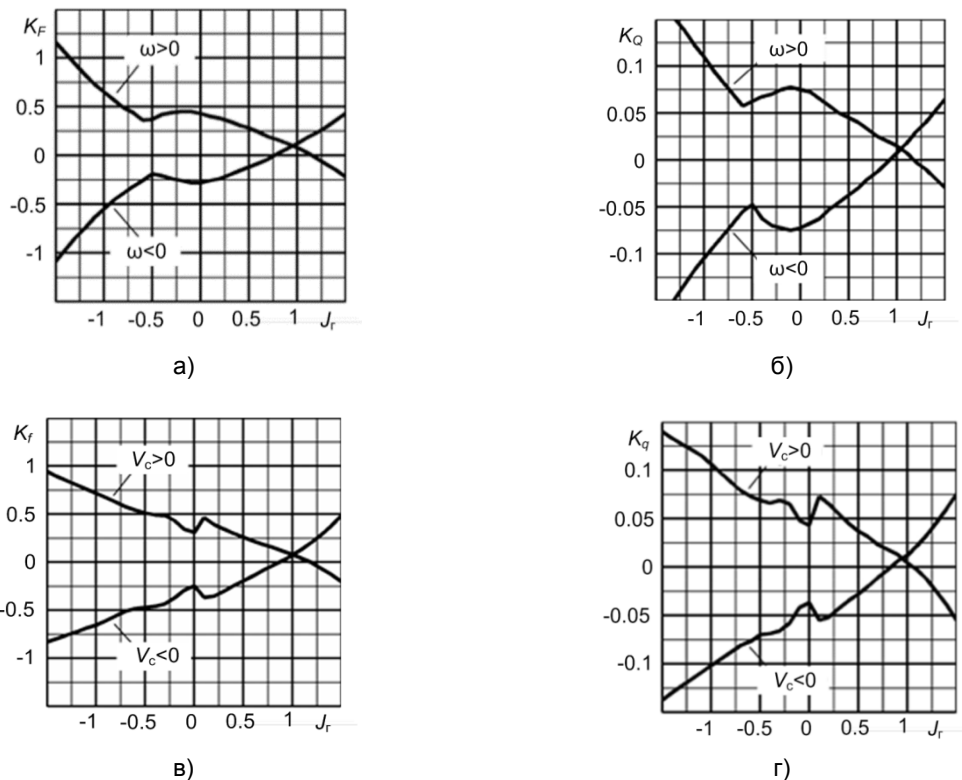
$$J_r = \frac{2\pi V_c}{\omega \cdot K \cdot D_{\Gamma}};$$

$$Q = \begin{cases} \frac{K_Q \rho_B D_{\Gamma}^5}{4\pi^2} (\omega \cdot K)^2 & \text{при } J_r \in [-1; 1]; \\ K_Q \rho_B D_{\Gamma}^3 V_c^2 & \text{при } J_r^{-1} \in (-1; 1); \end{cases}$$

$$F_r = \begin{cases} \frac{K_F \rho_B D_{\Gamma}^4}{4\pi^2} (\omega \cdot K)^2 & \text{при } J_r \in [-1; 1]; \\ K_F \rho_B D_{\Gamma}^2 V_c^2 & \text{при } J_r^{-1} \in (-1; 1), \end{cases}$$

де J – відносний поступ ГГ; V_c – швидкості переміщення судна відносно води; D_{Γ} – діаметр ГГ; $K_Q = f(J)$ та $K_Q = f(J^{-1})$ – безрозмірні коефіцієнти, що характеризують момент гребного гвинта; ρ_B – питома щільність води; F_r – рушійна сила (упор) гребного гвинта; $K_F = f(J)$ та $K_F = f(J^{-1})$ – безрозмірні коефіцієнти, що характеризують упор гребного гвинта.

Коефіцієнти K_Q, K_Q, K_F, K_F є нелінійними і визначаються із графічних залежностей, які наведені на рис. 2 для ГГ з $P_{ep}/D_{ep} = 1,2$ та $A_E/A_0 = 0,8$, де P_{ep} – крок перерізу лопаті (крок гвинтової координати), A_E – площа випрямленої поверхні лопатей, A_0 – площа диска ГГ.



а, б – для прямого режиму ГЕ; в, г – для реверсивного режиму ГЕ

Рис. 2

Оскільки моделювання проходить лише для руху судна по одній осі, припускаємо що на нього не діють бокова течія та вітер відсутній, тоді рівняння динаміки його руху прийме вигляд[4]:

$$m \frac{dV_c}{dt} = F_r - 0,5k_{FВ} \rho_B S_n V_c \cdot |V_c| - 0,5k_{FП} \rho_n S_n (V_c + V_n) \cdot (V_c + V_n),$$

де m – маса судна з приєднаними масами води; V_n – швидкість вітру; S_n, S_n – площа надводної та підводної частини судна; ρ_n – питома щільність повітря; $k_{FВ}, k_{FП}$ – коефіцієнти опору води та повітря.

Висновок. Розроблена математична модель генератор – гребний електродвигун, дозволяє знімати характеристики перехідних процесів при запуску та регулюванні швидкості руху судна та може бути використана для удосконалення системи запуску гребного електроприводу.

Список використаної літератури.

1. Фурман И. А. Моделирование двигателя постоянного тока независимого возбуждения с учетом нелинейностей / И. А. Фурман, И. Г. Абраменко, С. Я. Бовчалюк // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. - 2017. - Вип. 187. - С. 61-63. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdusg_2017_187_24
2. Теряев В.И Математическое моделирование гребного электропривода/ В. И. Теряев, Докухаки Мортеза// Режим доступу: <https://epa.kpi.ua/wp-content/uploads/2016/02/1708-MATEMATICHESKOE-MODELIROVANIE-GREBNOGO-ELEKTROPRIVODA.pdf>
3. Ставинський, А. А. Удосконалення математичної моделі самохідного підводного апарата для дослідження просторового руху / А. А. Ставинський, С. В. Блінцов // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. – 2004. – № 3 (396). – С. 161-166.
4. Лукомский, Ю. А. Навигация и управление движением судов. Учебник / Ю. А. Лукомский, В. Г. Пешехонов, Д. А. Скороходов. – Элмор, 2002. – 360 с.

УДК 621.316.71

Оверченко П. В., Новаківський В. В., Ольшевський С. І., Савченко О. В.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ВИКОРИСТАННЯ МОДУЛЯ ARDUINO ПРИ ПОБУДОВІ СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗКОЛЕКТОРНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Безколекторні двигуни постійного струму (БДПС) є різновидом синхронних електродвигунів з постійними магнітами на рухомому роторі та багатофазними обмотками на статорі, струм у яких регулюється за заданим законом керування. Повноцінне дослідження роботи електропривода на базі таких електродвигунів можливо (і бажано) виконувати двома способами – математичне імітаційне моделювання та натурне моделювання на електромеханічному стенді.

Математичне імітаційне моделювання було розглянуте в [1,2]. Основні принципи побудови системи керування БДПС викладені в [3]. Відповідно структура апаратної частини стенда може мати вигляд, зображений на рисунку 1.

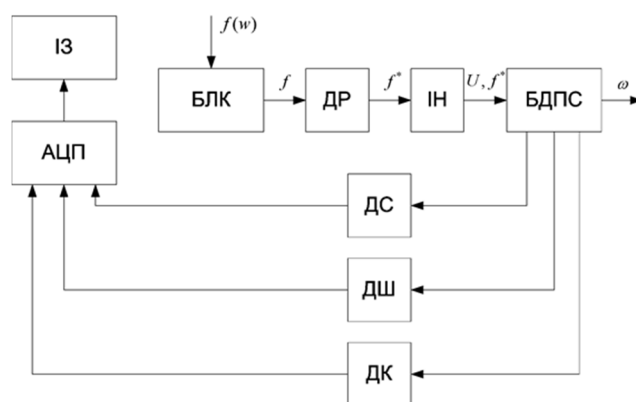


Рис. 1.

На рис. 1 використані наступні позначення: БЛК – блок логіки керування; ДР – драйвер; ІН – інвертор; БДПС – безколекторний двигун постійного струму; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; ІЗ – інтерфейс зв'язку; ДС – датчик струму; ДШ – датчик швидкості; ДК – датчик куту; $f(\omega)$ – функція програмного керування; f – сигнал керування інвертору; f^* – сигнал керування інвертору підсилений; U – напруга живлення двигуна; ω – частота обертання ротора БДПС. Такі елементи структурної схеми як БЛК, АЦП, ІЗ можуть бути як дискретними так і інтегрованими у один керуючий пристрій. Один з варіантів схемної реалізації наведений на рисунку 2 [4].

Основними елементами принципової схеми є: вхідний діодний міст – 1, лінійні стабілізатори напруги – 2, мікроконтролер Atmega16 – 3, кнопки керування стендом – 4, транзисторні ключі – 5, буферні мікросхеми – 6, роз'єм підключення двигуна – 7, DC-DC перетворювач – 8, мікросхема інтерфейсу RS-485 – 9, роз'єм підключення RS-485 – 10, оптрони з транзисторним виходом – 11, роз'єм програмування контролера JTAG – 12, символічний дисплей HD 44780 – 13, роз'єм програмування контролера ISP AVR.

Пропонуємо використовувати типові модулі Arduino для покращення наочності побудови системи керування та спрощення модифікації у подальшому (в разі виникнення потреби). У якості центрального модуля можливо використати модуль Arduino Mini – рисунок 3.. Існують як мінімум три версії модулів такого типу. Основна відмінність – тип мікросхеми використаного драйвера інтерфейсу USB. Найчастіше використовуються FT232RL, CH340, CH341. Відповідно відрізняється базове програмне забезпечення. За допомогою модуля Arduino Mini можливо реалізувати блоки БЛК, ДР, АЦП та ІЗ апаратної частини стенда (рис. 1). Реалізація передбачається, звісно, апаратно-програмна. Можлива реалізація підключення символічного дисплею (позиція 13 на рисунку 2) за допомогою програмно реалізованого інтерфейсу I2C.

Висновки. Запропоновано схемотехнічне рішення побудови програмно керованого стенда для дослідження БДПС. Використання типових модулів Arduino дозволяє структурувати схему та забезпечити модульну модифікацію у подальшому.

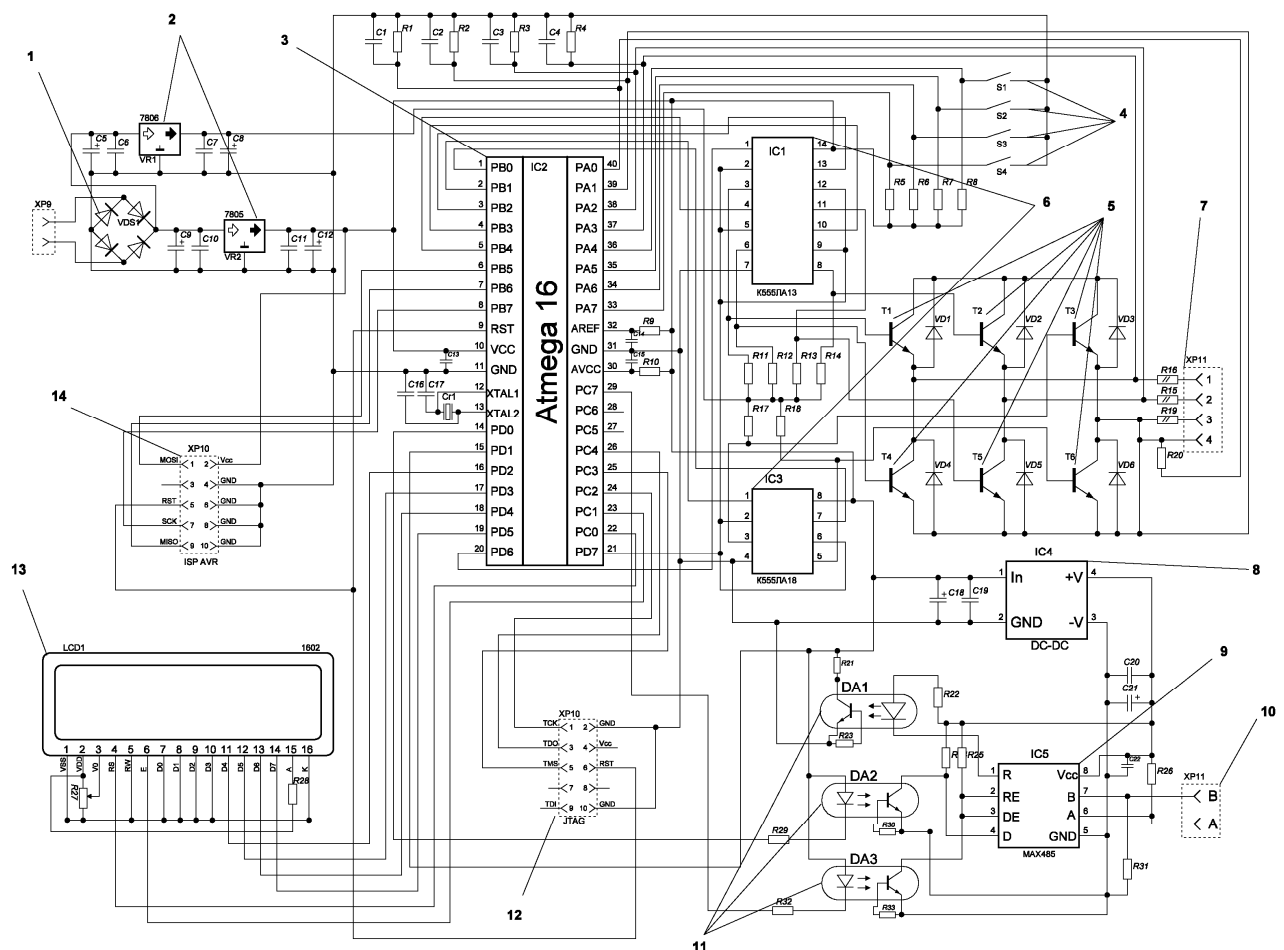


Рис. 2.

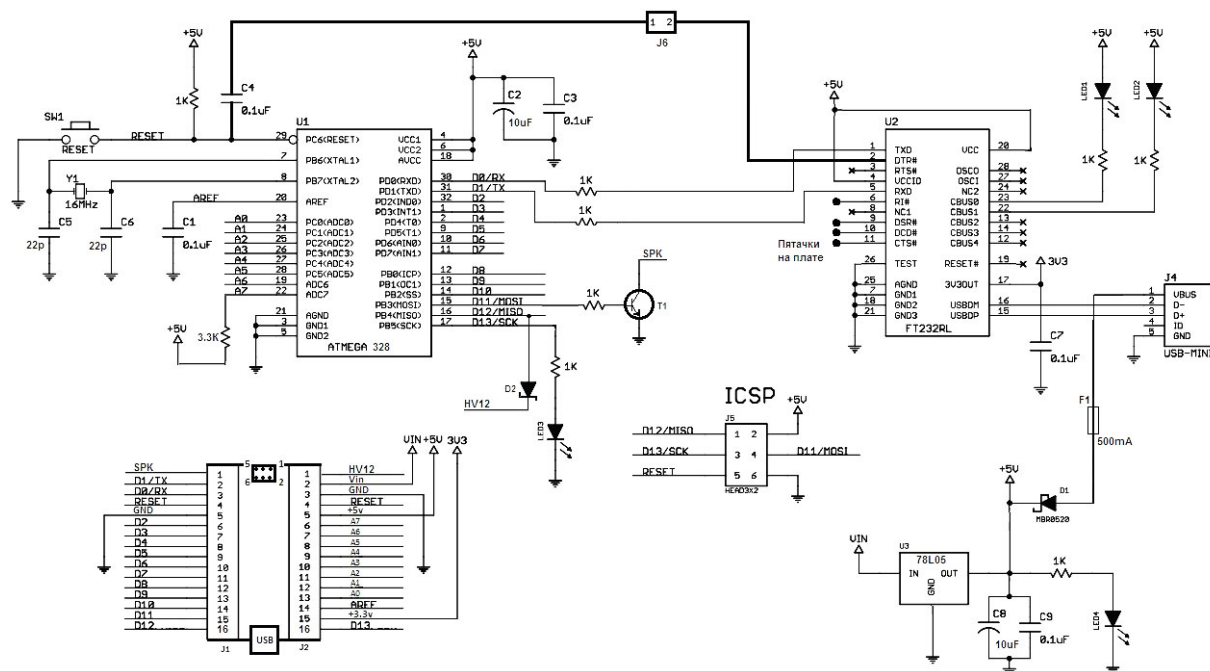


Рис. 3.

Список використаних джерел

1. Stefan Baldursson. BLDC Motor Modelling and Control – A Matlab/Simulink Implementation [Text] / Stefan Baldursson – Goteborg, 2005. – 86p.
2. Ольшевський С. І. Стенд для дослідження електропривода на базі безколекторного трифазного двигуна постійного струму [Текст] / С. І. Ольшевський, І. С. Білюк, О.В. Савченко, В. Т. Шахнов // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми автоматики та електротехніки – 2018» – Миколаїв : НУК, 2017. – С. 30-32.
3. Ward Brown. Brushless DC Motor Control Made Easy [Text] / Ward Brown – Microchip Technology Inc., 2002. – 58p.
4. Заявка на Патент № 4201901240 від 07.02.2019. Лабораторний стенд по дослідженню роботи безконтактного двигуна постійного струму / О. В. Савченко, С. І. Ольшевський, І. С. Білюк, Д. Ю. Шарейко, А. М. Фоменко, Л. А. Фоменко, О. В. Майборода, С. О. Гаврилов, Л. І. Бугрім (Україна).

УДК 681.5

Дроздов О. І., Савченко О. В., Гараєв К. Р., Фоменко Л. А.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

КОМПЛЕКТНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД В РЕЗОНАНСНИХ УСТАНОВКАХ

Модульність конструкції комплектних електроприводів, можливість легкого монтажу та налагодження, сполучення з програмними модулями привертає увагу в сучасному світі науки та техніки. З іншого боку використання резонансних режимів в промислових машинах робить їх ефективними та привабливими з точки зору економії електроенергії. Проте всі вузли та механізми резонансних машин та їх електроприводів вимагають особливо міцного виконання. Отже, всі двигуни, які застосовуються в вібраційних машинах, що працюють за резонансними режимами, мають спеціальне виконання та суттєво відрізняються від стандартних, типових двигунів комплектних електроприводів. Тому розв'язок задачі сполуки вібраційних двигунів з елементами комплектних електроприводів, дослідження фізичних явищ, що відбуваються в таких установках, цілком актуальна проблема.

Тому метою дослідження є відпрацювання загальних положень щодо застосування систем керування комплектних електроприводів промислових установок з асинхронними двигунами спеціального виконання, що призначені для створення вібрацій.

Посиленні двигуни для вібраторів виконуються з литої станини що підсилена додатковими ребрами жорсткості [1]. Також на таких двигунах встановлюються чавунні підшипникові щити, це дає змогу встановлювати вібратори не лише горизонтально, а й під певним кутом. Статор виготовляють з покращеною ізоляцією струмоводних частин для можливості використання вібратора в умовах підвищеної вологості. Металеві кожухи дебалансних елементів мають легкодоступні кріплення, що значно полегшує регулювання амплітуди коливань вібратора [2].

Функціональна схема системи регулювання швидкості АД при живленні його від перетворювача частоти (ПЧ) на основі автономного інвертора напруги з управлінням по вектору потокозчеплення ротора двигуна представлена в [3]. Подібна система векторного керування (система Transvektor) вперше була запропонована фірмою Siemens (ФРН). Система здійснює незалежне регулювання модуля вектора потокозчеплення ротора і швидкості ротора при збереженні прямої пропорційності між моментом двигуна і складовою намагнічує сили статора, перпендикулярній вектору потокозчеплення ротора.

Сигнал завдання потокозчеплення ротора формується в спеціальному обчислювальному пристрої ОП, що використовує математичну модель АД і вводяться в неї реальні параметри двигуна: активні і реактивні опори кіл статора і ротора, число пар полюсів, номінальні значення потужності, швидкості, напруги і струму статора, їх частоти, ККД та потужності. Доцільність використання комплектних електроприводів в резонансних установках зумовлена також і можливістю бездатчикового керування, що дуже важливо у виробництві, наприклад, бетонних виробів.

В даний час бездатчикові асинхронні приводи з векторним керуванням представлені практично всіма провідними фірмами-виробниками перетворювачів частоти. При цьому характеристики більшості цих приводів виявляються досить скромними. Зокрема, полоса пропускання контуру швидкості, як правило, не перевищує (5-7) Гц, а загальний діапазон регулювання швидкості (вгору і вниз від номінальної) не більше (20-100), що цілком досяжно і в системі частотного керування з векторною орієнтацією змінних в сталих режимах роботи. Більшість же виробників перетворювачів частоти взагалі не заявляють у технічній документації смугу пропускання і діапазон регулювання швидкості. У цьому випадку отримати подібну інформацію вдається тільки в результаті проведення стендових випробувань. Таким чином, якщо розглядати зазначені характеристики регулювання швидкості, то практично «стирається грань» між бездатчиковими електроприводами з частотним і векторним керуванням. Характеристики асинхронних векторних електроприводів без датчика швидкості можуть суттєво перевищувати аналогічні характеристики систем частотного керування. Зокрема, смуга пропускання контуру швидкості може становити більше 30 Гц, а в діапазоні регулювання швидкості не менше 100 забезпечуються значно менші статичні і динамічні помилки. Проте для досягнення таких результатів доводиться вирішити ряд проблем.

Основні проблеми, пов'язані з побудовою бездатчикового векторного електроприводу, заключаються в наступному.

Спостерігач стану асинхронного двигуна, побудований на основі рішення повної системи рівнянь електричної рівноваги для статора і ротора за доступною інформації про напруги і струми статора, здатний забезпечити прийнятну точність обчислення потокозчеплення і швидкості тільки в обмеженому діапазоні частот. Це пов'язано з відомою проблемою введення початкових умов при частотах, близьких до нульової. Практично всі способи рішення цієї проблеми зв'язані з визначенням відхилення математичного опису спостерігача стану відносно реального об'єкта при роботі в області малих частот. Ці відхилення проявляються у вигляді помилки в обчисленні потокозчеплення, швидкості, активної і реактивної складової струму.

Наступною проблемою є чутливість електроприводу до зміни його параметрів в процесі роботи. Перш за все це відноситься до температурних змін активних опорів статора і ротора, а також до зміни взаємної індуктивності в залежності від струму кола намагнічування. Одним з підходів до рішення даної проблеми в побудові векторного регулятора і спостерігача стану АД являється використання регуляторів, грубих у відношенні параметричних збурень, в тому числі, релейних регуляторів, функціонуючих в ковзних режимах. Іншим підходом являється параметрична адаптація, здійснена в реальному часі при роботі привода.

Третьою проблемою є отримання необхідної точності оцінки еквівалентних (усереднених на інтервалі розрахунку процесів в спостерігачі стану) значень струмів і напруг статора. На точність оцінки еквівалентних напруг в області малих частот основної гармоніки і високих частот модуляції істотно впливає «мертвий час» і затримки перемикачів інвертора. Проблема точності вимірювання напруги на малих частотах у набагато меншому ступені проявляється у векторних електроприводах з датчиком швидкості / положення, так як швидкодіючий контур швидкості, замкнутий по реально вимірюваному сигналу, здатний в значній мірі компенсувати помилки, пов'язані з динамічними «неідеальностями» ключів інвертора.

Отже розв'язок цих задач дозволить застосувати у вібромашинах бездатчиковий комплектний електропривод. Модульність конструкцій яких створить можливість швидкого усунення неполадок, а бездатчиковість підвищить надійність устаткування.

Список використаних джерел

1. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник. А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Со-
боленская. – М.: Энергоиздат, 1982 – 504 с., ил.
2. Гуров А.П., Шарейко Д.Ю. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу “Основи вітро-
техніки”. – Миколаїв: УДМУ, 2001 – 56с.
3. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. вузов/ В.М. Терехов, О.И.
Осипов; под ред. В.М. Терехова. - 3-е изд., стер. - М.: Издательский центр "Академия", 2008. - 304с.

УДК 681.5*Ізбаш Л. М.**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв***РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ СЕПАРАЦІЇ МОЛОКА**

Серед споживачів електричної енергії значну частку складають електродвигуни різного призначення, що споживають більше половини виробленої енергії. Саме тут закладені найбільші резерви енергозбереження. Один із шляхів економії електроенергії у високоінерційних механізмах є застосування досконалих видів електроприводів. Недоліком реостатних систем керування асинхронних двигунів подібних механізмів є значні витрати енергії під час пуску та гальмування. Частотно-керовані системи мають високі регульовальні властивості та кращі техніко-економічні показники [1-4].

Проте протягом тривалого часу зайва енергія, яка накопичується в перетворювачах частоти при гальмуванні асинхронних двигунів з високоінерційним навантаженням або в статичному режимі гальмування розсіювалась на спеціальних гальмівних резисторах. Останнє – необхідна умова для обмеження рівня напруги на шинах постійного струму перетворювачів частоти при роботі в цих режимах. Відомо, що це призводить до зайвих витрат. Сучасні технології дають змогу повертати енергію в живлячу мережу в режимах гальмування, використовуючи додатково до перетворювачів модулі рекуперації.

Таки чином, гальмування з поверненням енергії в живлячу мережу більш економічно доцільне, ніж гальмування з підключенням зовнішнього резистора. Воно дозволяє раціонально використовувати енергію гальмування, направляти її потік на інші механізми, знижуючи загальне споживання електроенергії в системах електропостачання.

Використання модулів рекуперації перетворювачів частоти таким чином дає змогу:

- заощаджувати електроенергію;
- знизити температуру інвертора порівняно з реостатним гальмуванням;
- забезпечити повний чотирьохкватратний режим роботи електропривода;
- захистити інвертор у гальмівних режимах;
- забезпечити можливість роботи пристрою рекуперації з $\cos \phi$ близьким до одиниці.

Метою дослідження є розробка автоматизованого електропривода установки сепарації молока, визначення ефективності застосування для електроприводів молочних сепараторів перетворювачів частоти, а також модулів рекуперації. В якості елементної бази використана продукція італійської компанії Elettronica Santerno. Ефективним рішенням для рекуперації енергії є використання частотних перетворювачів Sinus Penta разом з модулем рекуперації.

В даній роботі було розроблено автоматизований електропривод сепаратора молока з аналізом процесів рекуперації енергії в мережу в контексті технологічного процесу виробництва молока. Промодельована робота сепаратора молока Westfalia модель MSE 600-01-777 з приводом від асинхронного двигуна потужністю 75 кВт. Запропоновано використати енергоефективну систему векторного керування, побудовано математичну модель даної частотної системи. Використане наступне обладнання: асинхронний електродвигун AIP280S6, перетворювачі частоти основний та рекуперативний моделі SINUS PENTA 0129 потужністю 75 кВт в режимі Heavy (перевантаження до 175 % – для центрифуг). Встановлено, що енергія гальмування сепаратора протягом робочого циклу становить $2,2 \cdot 10^3$ кВт·с, а середнє значення потужності гальмування протягом робочого циклу 11,5 кВт. Цим підтверджується доцільність застосування рекуперації в розглядуваній системі. Побудовано імітаційну модель системи та отримано перехідні процеси з задовільними показниками якості керування. Результати дослідження можуть бути використані підприємствами харчової промисловості та виробниками молочної продукції.

Висновки. В роботі розроблено автоматизований електропривод установки сепарації молока з аналізом процесів рекуперації енергії в мережу в контексті технологічного процесу виробництва. Ефективним технічним рішенням для рекуперації енергії є використання частотних перетворювачів Sinus Penta разом з модулем рекуперації. Встановлено, що енергія гальмування сепаратора протягом робочого циклу становить $2,2 \cdot 10^3$ кВт·с, а сере-

дні значення потужності гальмування протягом робочого циклу 11,5 кВт. Побудовано імітаційну модель системи та отримано перехідні процеси з задовільними показниками якості керування.

Список використаних джерел

1. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов [Текст] / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М.: «Академия», 2007. – 576.
2. Ключев В.И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов [Текст] / В.И. Ключев, В.М. Терехов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.
3. Козярук А.Е. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов [Текст] / А.Е. Козярук, В.В. Рудаков. – СПб: СПбЭТК, 2004. – 128 с.
4. Терехов В.М. Системы управления электроприводов [Текст] / В.М. Терехов, О.И. Осипов. – М.: Академия, 2006. – 304 с.

УДК 681.5

Лопушнян А. М.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЗЕРНОСУШИЛЬНОГО АГРЕГАТУ

Елеватори представляють собою комплекс споруд, до складу яких можуть входити: робоча будівля, силосні корпуси, пристрої для завантаження та вивантаження зерна, зерносушарки та інше зерносушильне устаткування.

На виробництвах спостерігається тенденція до підвищення енергоефективності роботи зерносушильного устаткування та, зокрема, електроприводів вентиляторів зерносушарок. Електроприводи вентиляторів зерносушильних агрегатів в переважній більшості є неавтоматизованими. Вони не здатні забезпечити сучасні вимоги до надійності та якості керування, їх енергоефективність є порівняно низькою. Вирішити дану проблему дозволяє автоматизація та розробка автоматизованих систем керування електроприводами вентиляторів.

Оскільки приводом вентиляторів зерносушильного устаткування, як правило, виступають асинхронні двигуни, то виникає необхідність в розробці автоматизованих систем керування ними. В якості таких систем можуть бути використані система частотного керування зі скалярним принципом керування та параболічною залежністю між напругою та частотою живлячої мережі. За деякими даними економія електроенергії при використанні частотного керування досягає до 30 % порівняно з неавтоматизованими системами [1].

При установці зерносушарок в елеваторі автоматизація процесу сушіння може бути включена в систему керування технологічним процесом підприємства. Проте, зазвичай, в загальну систему автоматизованого керування процесу на хлібоприймальних підприємствах включають тільки транспортні пристрої, що подають на сушку і прибирають після сушіння зерно, а зерносушарки виділяють в самостійний об'єкт автоматизації.

Проведене дослідження присвячено розробці автоматизованої системи керування електропривода вентилятора зерносушильного агрегату. Проведено аналіз сучасного стану автоматизації зерносушильного устаткування з урахуванням особливостей зазначених в роботах [2-4]. В результаті визначено, що підвищення робочих показників зерносушильного устаткування може бути здійснено за рахунок автоматизації електроприводів вентиляторів. Оскільки приводом вентиляторів зерносушильного агрегату 1195 BEM-NG є двигуни змінного струму, то для автоматизації електропривода вентиляторів рекомендується використовувати системи частотного керування.

Розроблено автоматизовану систему керування електропривода зерносушильного агрегату 1195 BEM-NG, яка представляє собою систему частотного керування зі скалярним принципом керування. Враховуючи тип виконавчого механізму, реалізовано параболічну залежність між напругою та частотою живлячої мережі. Використана система дозволяє забезпечити достатній динамічний діапазон та точність керування електроприводом вентилятора зерносушильного агрегату 1195 BEM-NG.

Висновки. В роботі розроблено систему керування електропривода зерносушильного агрегату, наведено її функціональну та структурну схеми. Аналіз динаміки системи проводився на основі аналізу показників якості керування, визначених на основі графіків перехідних процесів. Встановлено, що отримані показники якості керування забезпечуються необхідні умови по тривалості перехідного процесу та по перерегулюванню.

Список використаних джерел

1. Анхимюк В.Л. Проектирование систем автоматического управления электроприводами / В.Л. Анхимюк, О.П. Ильин. – Мн.: Высш. шк., 1971. – 336 с.
2. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов [Текст] / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М.: «Академия», 2007. – 576.
3. Гудвин Г.К. Проектирование систем управления [Текст] / Г.К. Гудвин, С.Ф. Гребен, М.Э. Сальгадо. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2004. – 911 с.

4. Терехов В.М. Системы управления электроприводов [Текст] / В.М. Терехов, О.И. Осипов. – М.: Академия, 2006. – 304 с.

УДК 681.5

Нагірний В. В.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ДРОБАРКИ ПОДРІБНЕННЯ КОРМІВ

Виробничі задачі виготовлення комбікормів можуть бути вирішені на основі постійного підвищення ефективності виробництва, шляхом удосконалення технології, модернізації обладнання, розробки енергоефективних систем керування та впровадження наукових досліджень у виробництво.

Сучасний технологічний процес виробництва муки, крупи і комбікормів відноситься до складних багатофакторних процесів з багатьма внутрішніми прямими та зворотними зв'язками [1]. В свою чергу, сучасні комбікормові заводи на сьогодні представляють собою підприємства, на яких всі технологічні операції автоматизовані, технологічний процес є безперервним (поточним), ручна праця відсутня, а окремі операції оснащені автоматичними пристроями, які виконують функції контролю і керування. При цьому загальне керування технологічним процесом здійснюється з центрального пульта керування. Основними цілями автоматизації технологічного процесу є: скорочення чисельності обслуговуючого персоналу; збільшення обсягів продукції, що випускається; підвищення ефективності виробничого процесу; підвищення якості продукції; зниження витрат сировини; підвищення ритмічності виробництва; підвищення безпеки; підвищення екологічності; підвищення економічності.

Використання сучасних енергоефективних систем керування електропривода подрібнення кормів дозволить підвищити продуктивність праці, підвищити точність та діапазон регульованої величини. За деякими даними, економія електроенергії при використанні побічних систем керування досягає до 15-30 % [2-5].

Під час проведеного дослідження розроблено електротехнічну установку подрібнення кормів із застосуванням енергоефективної системи керування електропривода молоткової дробарки ДКМ-1,2. Попередньо було проаналізовано базову електричну схему молоткової дробарки ДКМ-1,2 та запропоновано автоматизувати її нерегульований електропривод за рахунок використання енергоефективної системи частотного керування. В якості алгоритму частотного керування обрано векторний варіант, оскільки він забезпечить значно більш широкий динамічний діапазон швидкостей регулювання валу дробарки ДКМ-1,2, а це, відповідно, вплине на якість обробки комбікормової сировини за рахунок більш точного вибору режиму подрібнення. Запропонована система побудована на перетворювачі частоти SINUS PENTA 0017 4T потужністю 11 кВт, який обрано на основі потужності попередньо обраного сучасного асинхронного електродвигуна RA160MA4. В роботі наведено функціональну та структурну схеми системи, вибрано основне та додаткове обладнання. Також, проведено імітаційне моделювання теплового режиму роботи електродвигуна дробарки ДКМ-1,2. Результати моделювання свідчать про правильність вибору двигуна стосовно теплових режимів роботи.

Виконано дослідження динаміки системи та одержані параметри налаштування ПІ-регуляторів швидкості, що забезпечують необхідні за завданням показники якості керування, зокрема час перехідного процесу становить 0,8 с, а перерегулювання 0 % (аперіодичний процес).

Висновки. В роботі розроблено систему керування електропривода дробарки подрібнення кормів. В якості алгоритму частотного керування обрано векторний варіант, оскільки він забезпечить значно більш широкий динамічний діапазон швидкостей регулювання валу дробарки ДКМ-1,2, а це, відповідно, вплине на якість обробки комбікормової сировини за рахунок більш точного вибору режиму подрібнення. Також, виконано дослідження динаміки системи та одержані параметри налаштування ПІ-регуляторів швидкості, що забезпечують необхідні за завданням показники якості керування, зокрема час перехідного процесу становить 0,8 с, а перерегулювання 0 % (аперіодичний процес).

Список використаних джерел

1. Афанасьев В.А. Руководство по технологии комбикормовой продукции с основами кормления животных [Текст] / В.А. Афанасьев. – Воронеж: Изд-во ВНИИКП, 2007. – 389 с.
2. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов [Текст] / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М.: «Академия», 2007. – 576.
3. Бородин И.Ф. Автоматизация технологического процессов [Текст] / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник. – М.: Колос, 2004. – 344 с.
4. Дорф Р. Современные системы управления [Текст] / Р. Дорф, Р. Бишоп. Пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.

5. Капустин Н.М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении [Текст] / [Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов, А.Г. Схиртладзе и др.]. – М.: Высш. шк., 2004. – 415 с.

УДК 621.3.082.62

Поворознюк О. С., Кириченко О. С., к.т.н., доцент

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З РІЗНИМИ ГАБАРИТНИМИ РОЗМІРАМИ КОНТАКТНИХ ПЛАСТИН

В роботі проведено порівняльний аналіз термоелектричних елементів з різними габаритними розмірами контактних пластин. Актуальність роботи пов'язана з необхідністю врахування не тільки типу електротехнічного матеріалу контактних пластин між напівпровідниковим матеріалом, а також врахуванням габаритних розмірів цих контактних пластин на величину термоелектричного ефекту Пельтьє.

Ефект Пельтьє представляє собою явище, яке полягає в тому, що при проходженні струму через замкнуте коло, що складається з різних провідників, в місцях їх контактів виділяється або поглинається (в залежності від напрямку струму) тепло [1]. Якщо температури спайів різні, то алгебраїчна сума теплот відмінна від нуля і, відповідно до першого закону термодинаміки, дорівнює роботі, яку здійснює термоелектрорушійна сила при протіканні в колі даної кількості електрики q :

$$E_q = \Pi(T_1)q - \Pi(T_0)q + q \int_{T_0}^{T_1} (\tau'' - \tau') dT. \quad (1)$$

Приріст ентропії носіїв струму на будь-якій ділянці процесу легко розраховується відповідно до другого закону термодинаміки. У замкнутому циклі цей приріст, очевидно, дорівнює нулю, таким чином

$$\oint ds = \frac{\Pi(T_1)q}{T_1} - \frac{\Pi(T_0)q}{T_0} + q \int_{T_0}^{T_1} \frac{\tau'' - \tau'}{T} dT = 0. \quad (2)$$

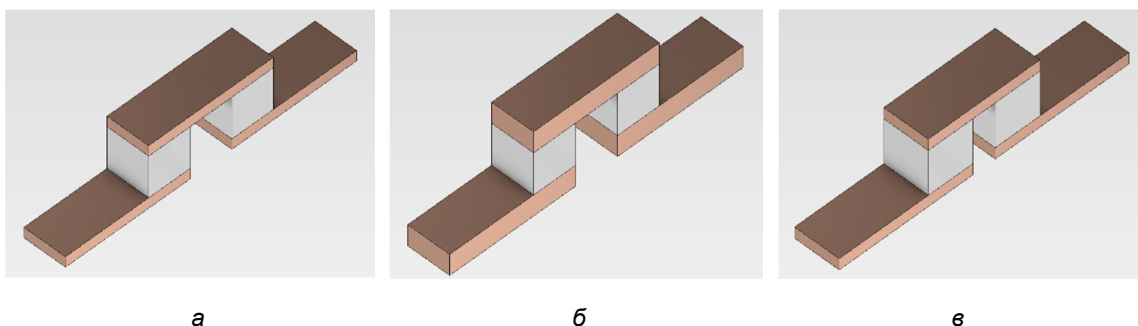
Формули (1) та (2) виражають зміст першого і другого законів термодинаміки в застосуванні до термоелектричного процесу та тим точніше описують реальний процес, чим менший інтервал температур $(T_1 - T_0)$. У граничному випадку $(T_1 - T_0 = dT)$ [2] замість (1) і (2) знаходимо:

$$dE = d\Pi + (\tau'' - \tau') dT \quad (3)$$

і

$$d\left(\frac{\Pi}{T}\right) + \frac{\tau'' - \tau'}{T} dT = 0. \quad (4)$$

На рис. 1 представлено геометричні та відповідні їм кінцево-елементні моделі термоелектричних елементів з різними габаритними розмірами контактних пластин.



а

б

в

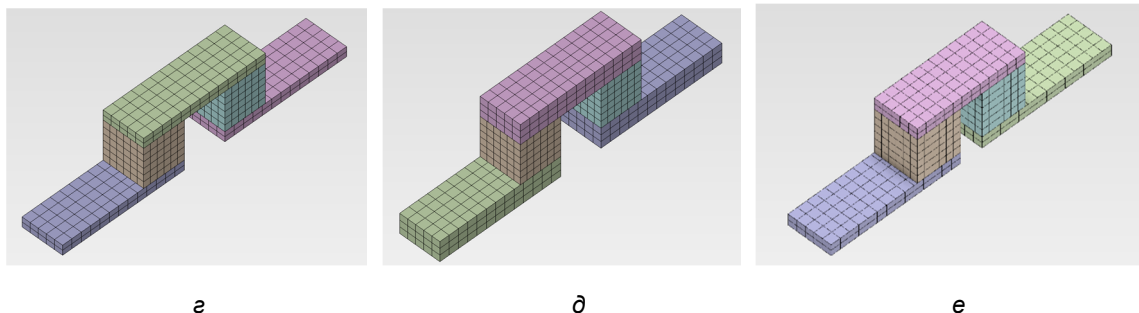


Рис. 1

Порівняльний аналіз здійснено на основі порівняння трьох термоелектричних елементів з різними габаритними розмірами пластин. Всі три термоелектричні елементи містять два напівпровідники *N*- і *P*-типу в формі куба з довжиною ребра 2 мм і три контактні мідні пластини, одна з яких безпосередньо з'єднує два напівпровідники між собою, а дві інші є кінцевими вивідними. Перший термоелектричний елемент (рис. 1, а) умовно приймемо за базовий, він має контактні пластини з наступними габаритними розмірами 6×2×0,5 мм. Висоту всіх контактних пластин другого термоелектричного елемента (рис. 1, б) збільшено в 2 рази з 0,5 до 1 мм. Третій термоелектричний елемент (рис. 1, в) на відміну від першого відрізняється лише довжиною контактної пластини, що безпосередньо з'єднує два напівпровідники, ця довжина зменшена з 6 до 5 мм. Таким чином, відстань між напівпровідниками третього термоелектричного елемента зменшено з 2 до 1 мм. На основі геометричних моделей з урахуванням рекомендацій робіт [3, 4] було побудовано відповідні їм кінцево-елементні моделі (рис. 1, а-в),

Результати порівняльного аналізу трьох термоелектричних елементів при силі постійного струму 0,1 А з різними габаритними розмірами контактних пластин в графічній формі представлено на рис. 2. При цьому розподіл густини струму по просторовим моделям першого, другого та третього термоелектричних елементів різний (рис. 2, а-в), проте розподіл стаціонарного температурного поля в адіабатичному режимі роботи в кожному з них залишився практично незмінним (рис. 2, г-в). Це свідчить про відсутність суттєвого впливу зміни габаритних розмірів контактних пластин на термоелектричний ефект Пельтьє.

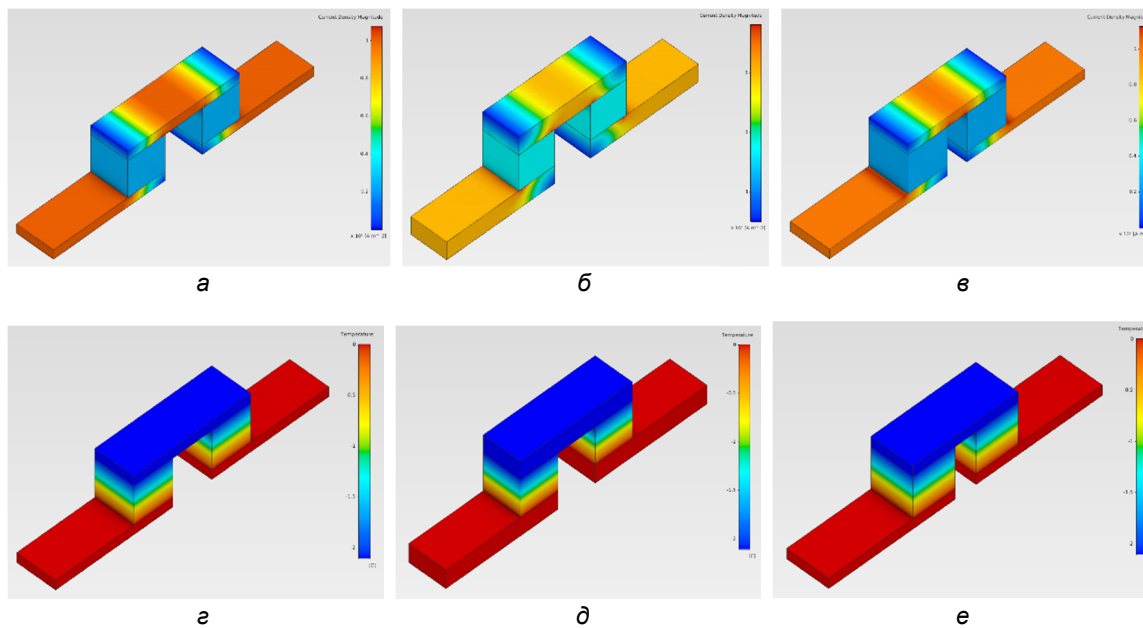


Рис. 2

Розрахункові значення температури на зовнішній поверхні охолодженої пластини першого, другого і третього термоелектричних елементів при силі постійного струму 0,1 А однакові і становить $-2,1^{\circ}\text{C}$. Збільшення сили постійного струму в 10 разів до 1 А призводить до зростання термоелектричного ефекту Пельтьє, при цьому температура охолодженої пластини для всіх трьох термоелектричних елементів знову однакова і становить $-18,8^{\circ}\text{C}$.

Висновки. В роботі створено математичні моделі для трьох термоелектричних елементів з різними габаритними розмірами контактних пластин. виконано порівняльний аналіз трьох термоелектричних елементів з різними

габаритними розмірами контактних пластин. Порівняльний аналіз здійснено на основі результатів розрахунку стаціонарного теплового поля по моделям термоелектричних елементів. Для всіх трьох термоелектричних елементів при силі постійного струму 0,1 А температура на зовнішній охолодженій пластині термоелемента становить $-2,1^{\circ}\text{C}$, а при збільшенні сили постійного струму в 10 разів до 1 А ця ж температура становить $-18,8^{\circ}\text{C}$. Встановлено, що зміна габаритних розмірів для всіх розглядуваних термоелектричних модулів суттєво не впливає на термоелектричний ефект Пельтьє.

Список використаних джерел

1. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: Справочник [Текст] / Л.И. Анатычук. – Киев: Наукова думка, 1979. – 768 с.
2. А.Г. Коротких, И.В. Шаманин Техническая термодинамика и основы термоэлектричества в проектировании ядерных энергетических установок: Учебное пособие [Текст] / А.Г. Коротких, И. В. Шаманин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 111 с.
3. Кириченко О.С. Чисельне тримірне моделювання термоелектричного охолоджувача вимірювального електроустаткування автоматичних систем [Текст] / О.С. Кириченко, І.С. Білюк, Д.Ю. Шарейко, А.М. Фоменко, С.О. Гаврилов, Л.І. Бугрім // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – Київ: ТНУ ім. В.І. Вернадського, 2018. – Том 29 (68). Ч. 1. № 6. – С. 58-63.
4. Кулон Жан-Луи. САПР в электротехнике [Текст] / Жан Луи Кулон, Жан-Клод Сабоннадьер. – М.: Мир, 1988. – 208 с.

УДК 681.5

Савостьянов В. В.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПАЛИВОРОЗДАВАЛЬНОЇ КОЛОНКИ АВТОЗАПРАВНОЇ СТАНЦІЇ

Паливороздавальна колонка (ПРК), або ще її називають бензоколонка, є засобом для здійснення товарно-грошових операцій між продавцем і покупцем. Продукт, що споживач отримує від ПРК, відноситься до специфічних товарів: це рідина пожежонебезпечна, пари якої можуть утворювати вибухонебезпечну концентрацію з повітрям, крім того, вони небезпечні для людини і екосистеми.

ПРК виконує дуже важливі функції і до неї пред'являються певні вимоги:

- надійна безперебійна робота в частині швидкості наливу, точності відпуску заданих доз, герметичність гідравлічної системи ПРК;
- прийнятна вартість ПРК;
- невисока вартість обслуговування ПРК на протязі терміну використання, наявність витратних матеріалів і запчастин;
- сучасний дизайн ПРК і поєднання його з загальним дизайном АЗС;
- система керування ТРК і АЗС повинна забезпечити надійну фіскалізацію дій персоналу в відношенні несанкціонованого доступу до продукту.

Виробник ПРК, безумовно, повинен приймати, враховувати та виконувати вимоги як споживача продукту, що видається через ПРК, так і власника АЗС, і, крім того, повинен мати достатню кількість регіональних точок з кваліфікованим обслуговуючим персоналом, що забезпечений необхідною кількістю витратних матеріалів і запасних частин.

ПРК відноситься до складних технічних пристроїв і складається з насосу, електродвигуна, фільтрів грубого і тонкого очищення, пристрою газовідділення, вимірювача об'єму, електроклапана, роздавального клапана і пристрою керування. Значна кількість ПРК, що використовуються, можуть бути вдосконалені шляхом розробки сучасних енергоефективних систем автоматизованих електроприводів паливних насосів [1-4].

Враховуючи вищезазначене, було розроблено енергоефективну систему частотного керування електроприводом насосної установки паливороздавальної колонки автозаправочної станції. Запропоновано використати енергоефективну систему скалярного керування, проаналізовано її математичну модель. В електроприводі занурювальної насосної установки пропонується використати сучасний електронасос Red Jacket модель UMP75U1 потужністю 0,55 кВт та перетворювач частоти MOELLER модель MMX12AA3D7F0-0 потужністю 0,75 кВт. Аналіз динаміки системи проведено на основі імітаційної моделі, побудованої з урахуванням функціональної і структурної схем запропонованої системи керування. Встановлено показники якості керування, які забезпечують необхідну плавність і відносно широкий діапазон регулювання швидкості.

Висновки. В роботі розроблено енергоефективну систему частотного керування електроприводом насосної установки паливороздавальної колонки автозаправочної станції. Необхідна якість керування електроприводом насосної установки підтверджена визначеними показниками якості керування.

Список використаних джерел

1. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов [Текст] / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М.: «Академия», 2007. – 576.
2. Карнаухов Н.Ф. Электромеханические и мехатронные системы [Текст] / Н.Ф. Карнаухов. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. – 320 с.
3. Терехов В.М. Системы управления электроприводов [Текст] / В.М. Терехов, О.И. Осипов. – М.: Академия, 2006. – 304 с.
4. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями [Текст] / А.А. Усольцев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006 г. – 94 с.

УДК 681.5

Шахнов В. Т.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ СУШІННЯ ЗЕРНА

Сушіння зерна представляє собою складний технологічний тепломасообмінний процес, який повинен забезпечити збереження всіх властивостей речовин, що містяться в зерні [1, 2]. Це можливо за умови дотримання оптимальних параметрів сушіння. Так, під час сушіння постійно змінюються термодинамічні й теплофізичні властивості зерна, зокрема теплоємність і теплопровідність. Тому необхідно суворо дотримувати рекомендованих режимів сушіння насіння кожної культури залежно від його вологості та цільового призначення.

Сушіння зерна полягає у видаленні з нього вологості, в результаті чого в ньому збільшується відносний вміст сухої частини. Процес сушіння зерна ґрунтується на здатності зерна випаровувати поверхневу вологу за умови, що тиск водяної пари в зерні вищий за тиск в оточуючому повітрі.

Питання підвищення енергоефективності установок сушіння зерна залишаються актуальними. Це пов'язано зі зростанням вимог, що пред'являються до зерносушильного устаткування. Удосконалення установок сушіння зерна можливе за рахунок їх конструктивного удосконалення, що забезпечить покращення технологічного процесу сушіння. Крім того, підвищенню енергоефективності зерносушильного устаткування сприяє застосування автоматизованих електроприводів замість нерегульованих. Такі автоматизовані електроприводи будуються на основі систем частотного керування. Враховуючи тип виконавчих механізмів в електроприводі доцільно використовувати системи скалярного керування. Ці системи забезпечать необхідні показники якості керування, точність і діапазон регульованої величини. Впровадження енергоефективних установок сушіння зерна забезпечить зменшення споживання електроенергії, за деякими даними це зменшення становить 15-30 % [3, 4].

В роботі розроблено енергоефективну установку сушіння на основі зерносушарки Mathews-3180 BEM-NG. Конструктивне удосконалення зерносушарки Mathews-3180 BEM-NG покращило технологічний процес сушіння зерна та зменшило споживання мінерального органічного палива. Також, розроблено енергоефективну систему керування електропривода вентилятора зерносушарки Mathews-3180 BEM-NG з використанням скалярного принципу керування. В автоматизованому електроприводі вентилятора зерносушарки використано асинхронний електродвигун AIP160M6 та перетворювач частоти Mitsubishi FR-A741-15K потужністю 15 кВт.

Виконано моделювання асинхронного двигуна електровентилятора зерносушарки Mathews-3180 BEM-NG з використанням інтерактивних параметризованих моделей, отримано його робочі характеристики. ККД спроектованого двигуна становить 87,5 %.

Крім того, проведено налаштування регуляторів і імітаційне моделювання перехідних процесів електропривода вентилятора зерносушарки Mathews-3180 BEM-NG. Отримано необхідні показники якості керування, які задовольняють умовам, що пред'являються до сучасних систем керування.

Висновки. Розроблено автоматизований електропривод установки сушіння зерна з використанням частотної системи керування скалярного типу. З використанням інтерактивних параметризованих моделей отримано робочі характеристики асинхронного двигуна електровентилятора зерносушарки Mathews-3180 BEM-NG. ККД спроектованого електродвигуна становить 87,5 %. На основі функціональної і структурної схем системи скалярного керування проведено імітаційне моделювання та проаналізовано динаміку системи. Отримано необхідні показники якості керування, які задовольняють умовам, що пред'являються до подібних систем керування.

Список використаних джерел

1. Алейников В.И. Пути снижения удельных затрат топлива и электроэнергии при сушке зерна: Обзорная информация. Сер. Элеваторная пром-сть [Текст] / В.И. Алейников. – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1979. – 71 с.
2. Егоров Г.А. Управление технологическими свойствами зерна [Текст] / Г.А. Егоров. – М.: Колос, 2000. – 348 с.
3. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием [Текст] / Г.Г. Соколовский. – М.: «Академия», 2006. – 265 с.
4. Терехов В.М. Системы управления электроприводов [Текст] / В.М. Терехов, О.И. Осипов. – М.: Академия, 2006. – 304 с.

УДК 681.5:621.3

Швецов О. Ю., Кириченко О. С., к.т.н., доцент

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЕЛЕКТРОКАЛОРИФЕРНОЇ УСТАНОВКИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ В ОРЕБРЕНИХ ТРУБЧАСТИХ НАГРІВАЧАХ

Базова система керування автоматизованого електропривода вентилятора розглядуваної електрокалориферної установки побудована на релейно-контакторній системі керування. Принципова електрична схема керування електрокалориферної установки СФОЦ-60 [1] показана на рис. 1.

Блок UZ1 містить автоматичний вимикач QF, плату керування AZ1, трифазний силовий ключ AZ2, що виконаний на гібридних модулях, оптронний тиристор, сигнальну лампу, запобіжник FU, запобіжне коло R1C1...R6C6 електрокалорифера і електродвигуна вентилятора. Автоматичний вимикач призначений для оперативного вмикання і вимикання установки в цілому, а також для відключення на випадок аварійної ситуації. Трифазний силовий тиристорний ключ регулює напругу і потужність електрокалорифера. Плата AZ1, що призначена для імпульсно-фазового керування тиристорним ключем, відключає автоматичний вимикач QF по сигналам датчиків, встановленим на силовій панелі, в аварійних режимах.

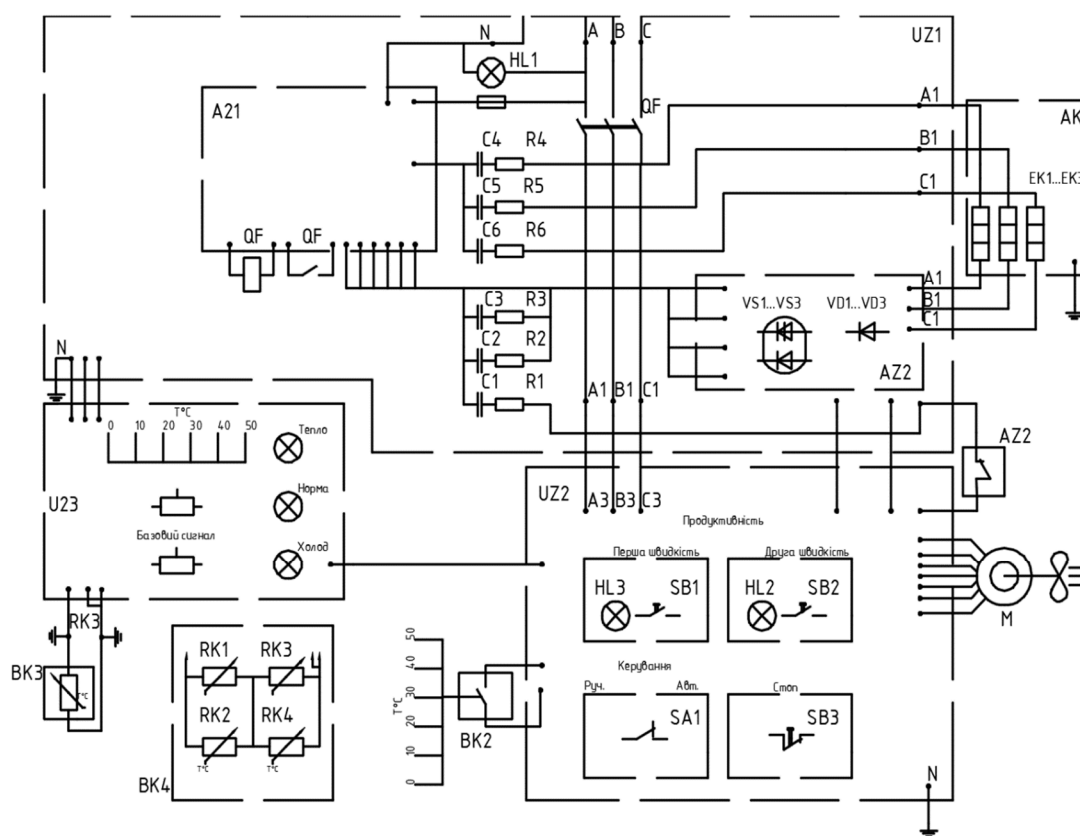


Рис.1

До складу блоку UZ3 входять датчики температури і базового сигналу, що забезпечує мінімальне вироблення тепла електрокалорифером. В блоці передбачена світлова сигналізація про режими роботи установки і температури повітря в опалюваному приміщенні: «Норма», «Тепло», «Холод».

Вхідний сигнал формується одним термоперетворювачем ВК5 або чотирма термоперетворювачами ВК1...ВК4, усереднюючи температуру в приміщенні.

Блок UZ2 потрібен для ступеневої зміни частоти обертання електродвигуна М привода відцентрового вентилятора. Режим роботи – ручний або автоматичний – встановлюється перемикачем S1. В ручному режимі за допомогою кнопок SB1, SB2 і магнітних пускачів обирають потрібну частоту обертання відцентрового вентилятора. В автоматичному режимі частота обертання і подача вентилятора регулюється в залежності від температури зовнішнього повітря, яка контролюється термометром ВК2 [1].

Розглянута релейно-контакторна система керування електрокалориферної установки СФОЦ-60 є фізично і морально застарілою, тому для керування електроприводом відцентрового вентилятора електрокалориферної установки запропоновано використати систему частотного керування зі скалярним алгоритмом керування. Даний тип системи керування обрано на основі проведеного огляду та аналізу з урахуванням типу навантаження [2]. В системі наявний канал негативного зворотного зв'язку за швидкістю, в якому можна використати тахогенератор або енкодер в якості датчика зворотного зв'язку. На основі розробленої функціональної і структурної схеми побудовано імітаційну модель та отримано графіки перехідних процесів [3]. Відповідність отриманих показників якості керування до вимог керування електроприводом відцентрового вентилятора електрокалориферної установки підтверджує правильність обраних технічних рішень.

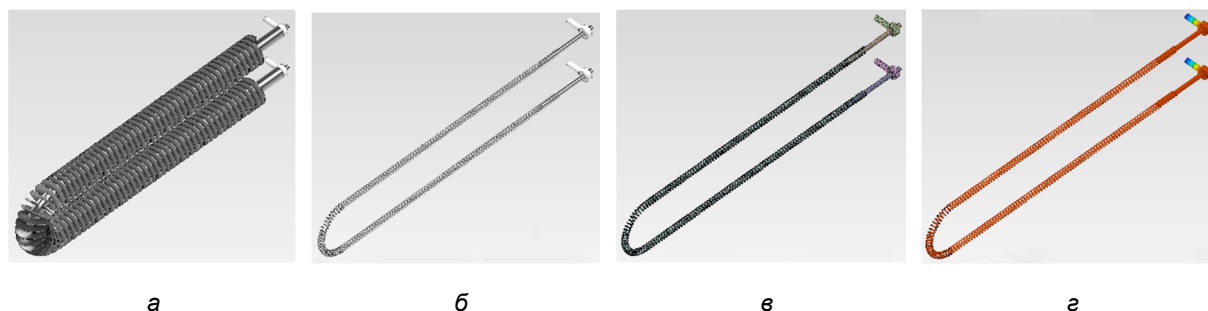


Рис. 2

Також, в роботі досліджено теплові процеси в оребрених трубчастих нагрівачах електрокалориферної установки СФОЦ-60. Оребрений трубчастий нагрівач складається з металевої трубки з оребренням і керамічним кріпленням (рис. 2, а), нагрівальної спіралі (рис. 2, б), а також ізоляційного матеріалу між ними. В якості матеріалу нагрівальної спіралі може бути застосований ніхром або вольфрам, а в якості ізоляційного матеріалу між ними – оксид магнію. Обрані електротехнічні матеріали в значній мірі визначають температурні режими роботи електрокалориферної установки СФОЦ-60 в цілому. Для розрахунку електричних і теплових характеристик оребреного трубчастого нагрівача побудовано кінцево-елементну модель нагрівальної спіралі (рис. 2, в). Розподіл температури по нагрівальній спіралі в статичному режимі роботи є рівномірним (рис. 2, г). Електричні і теплові характеристики оребрених трубчастих нагрівачів електрокалориферної установки отримано як для адіабатичного режиму роботи, так і для режимів вільної і вимушеної конвекції.

Висновки. На основі проведеного огляду і аналізу запропоновано використати систему частотного керування електроприводом відцентрового вентилятора електрокалориферної установки СФОЦ-60. Розроблено її функціональну і структурну схеми, побудовано імітаційну модель системи. Отримано графіки перехідних процесів і встановлено показники якості керування, що підтверджують правильність обраних технічних рішень. Також, в роботі досліджено теплові процеси в оребрених трубчастих нагрівачах електрокалориферної установки СФОЦ-60. Отримано електричні і теплові характеристики оребрених трубчастих нагрівачів електрокалориферної установки як для адіабатичного режиму роботи, так і для режимів вільної і вимушеної конвекції.

Список використаних джерел

1. Басов А.М. Электротехнология [Текст] / А.М. Басов, В.Г. Быков, А.В. Лаптев, В.Б. Файн. – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.
2. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студентов высших учебных заведений [Текст] / В.М. Терехов, О.И. Осипов. – М.: Академия, 2006. – 304 с.
3. Дьяконов В. Simulink 4. Специальный справочник [Текст] / В. Дьяконов. – СПб.: Питер, 2002. – 528 с.

УДК 629.5

Мельниченко А. С., магістрант.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДВИГУНОМ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Загальна постановка завдання керування може бути сформульована наступним чином. Маємо деякий динамічний об'єкт, поведінку якого описується вектором виходів (керованих змінних): $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T$ й вектором змінні стану $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$. Потрібно перевести даний об'єкт із початкового стану $x(t_0)$, у якому він перебуває в момент часу $t = t_0$, у заданий кінцевий стан x^* , якому відповідає певне значення вектора виходів y^* [1]. Для рішення цього завдання, тобто для керування станом об'єкта, використовується спеціальний керуючий пристрій (регулятор), до функцій якого належать формування вектора керуючих впливів (тобто входів об'єкта) $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)^T$ у відповідності із заданою програмою, обумовленою значеннями вектора керуючих впливів, (команди керування) $g = (g_1, g_2, \dots, g_n)^T$ й поточними (вимірюваними) значеннями компонентів вектора виходів y , вектора стану x об'єкта й вектора зовнішніх збурень $(f_1, f_2, \dots, f_n)^T$, рис. 1.

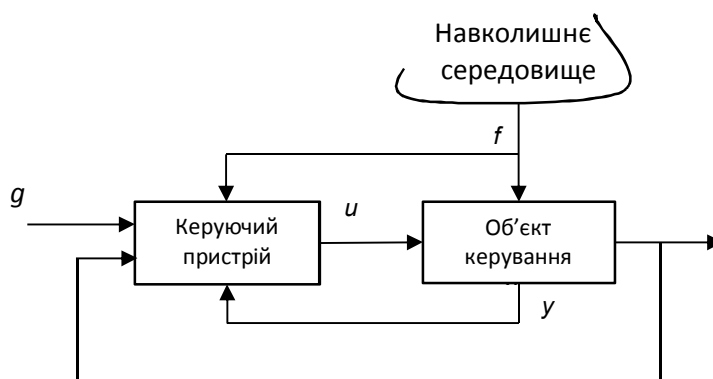


Рис. 1. Загальна структура системи керування

Метою даної роботи є застосування інтелектуального керування для електромеханічної системи, що містить у якості головного приводу двигун постійного струму незалежного збудження. А також, розробка математичної моделі даної системи з використанням інструменту для синтезу та аналізу нейронних мереж – Neural Network Toolbox пакету прикладних програм Matlab.

У класичній теорії керування для покращення перехідного процесу динамічного об'єкту керування застосовуються принципи пропорційного, інтегрального та диференційного регулювання (ПІД-регулятори).

Рівняння основного ПІД-регулятора визначається співвідношенням [2]:

$$K_I \int_0^t e(t) dt + K_P y(t) + K_D \frac{dy(t)}{dt}.$$

Наявність інтегральної складової забезпечує нульову статичну помилку САК; вибором коефіцієнтів КП, КІ і КД забезпечуються бажані показники якості перехідних процесів. Будемо враховувати 3 таких показники:

- час досягнення рівня 5% від сталого значення вихідної величини (t_1);
- час наростання, тобто час досягнення рівня 95% від сталого значення (t_n);
- перерегулювання (σ).

У якості об'єкту керування оберемо двигун постійного струму з незалежним збудженням та наступними параметрами: P – потужність двигуна, Вт: 1700; U_d – напруга двигуна, В: 240; U_b – напруга збудження двигуна, В: 300; n – частота обертання, об/хв.: 1750.

За допомогою MatLab розробимо систему керування заданим об'єктом. За принципом ПІД-керування побудуємо нейромережевий (НМ) регулятор для описаного вище об'єкту керування. Використаємо нейронну мережу, як блок налаштування параметрів основного (лінійного) регулятора. Рівняння динаміки цього регулятора має вигляд:

$$u(t) = K_1 e(t) + K_2 \int_0^t e(t) dt + K_3 \frac{de(t)}{dt},$$

де K_1 , K_2 , K_3 , – коефіцієнти підсилення пропорційної, інтегральної й диференційної складової відповідно. Тоді навчання нейронної мережі зводиться до формування такого вектора параметрів $K = (K_1, K_2, K_3)$, при якому забезпечується мінімальна неузгодженість $\varepsilon(t) = y(t) - y_{em}(t)$.

У якості об'єкту керування оберемо двигун постійного струму незалежного збудження. Для налаштування роботи нейронної мережі як ПД-регулятора необхідна вибірка даних у вигляді векторів можливих значень коефіцієнтів підсилення пропорційної та диференційної ланок.

У якості еталонної моделі для отримання необхідної вибірки оберемо розроблений вище ПД-регулятор. За допомогою MatLab зберемо схему та сформуємо вектор Vxход для навчання нейронної мережі, рис. 2.

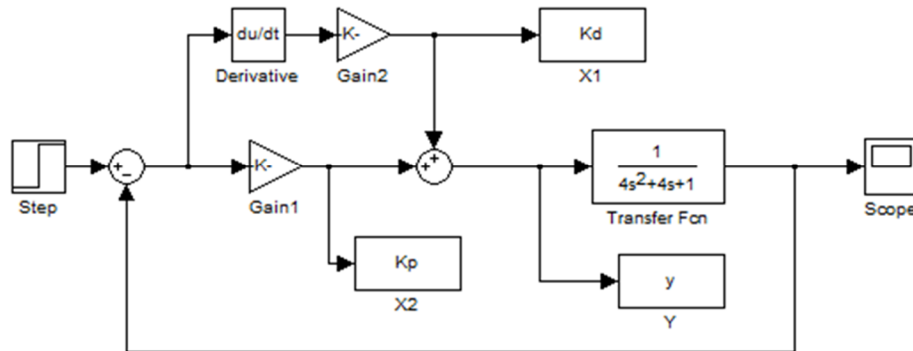


Рис. 2. Формування вектору для навчання нейронної мережі

За допомогою функції nntool пакету MatLab створимо нову нейронну мережу та задамо необхідні параметри для навчання, а саме:

- вектор Vxход, що складається зі значень K_d , K_p які отримані при подачі на об'єкт одиничного вхідного впливу;
- вектор y – значення керуючого впливу отриманого з еталонної моделі.

На рисунку 3, представлено структурну схему отриманої нейронної мережі.

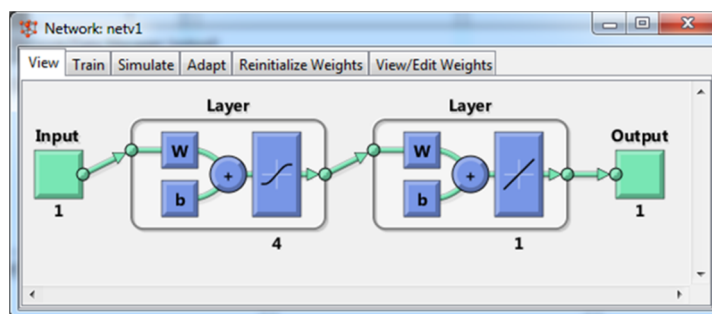


Рис. 3.

Дана мережа складається з двох прихованих шарів. Перший шар містить 4 нейрони з функцією активації у вигляді тангенсальної сигмоїди. Другий шар складається з одного нейрону та лінійної функції активації.

Синтезуємо систему керування для заданого об'єкту управління на базі отриманої нейронної мережі методом безпосереднього включення НМ, як регулятора у замкнутий контур керування об'єктом (рис. 4), [3].

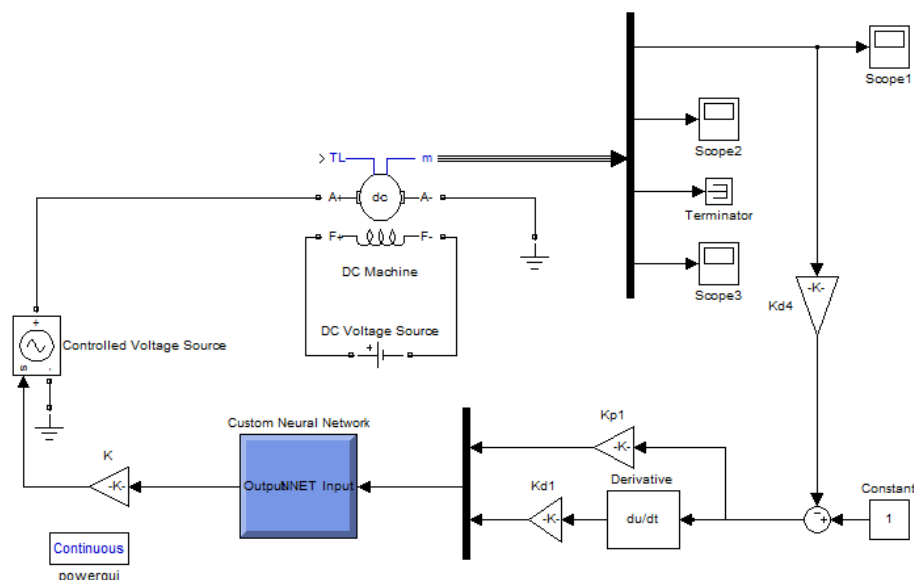


Рис. 4. Система керування на базі штучної нейронної мережі для двигуна постійного струму незалежного збудження

Для навчання регулятора на нейронній мережі було проведено серію експериментів та отримано вибірку даних, що описують роботу ПД-регулятора при подачі на об'єкт одиничного значення. У якості структури регулятора обрано перцептрон із зворотним поширенням похибки. Після навчання нейронної мережі, розроблена система керування повністю імітує роботу ПД-регулятора, який було обрано у якості еталонної моделі. В результаті досліджень побудовано перехідні процеси, які представлено у вигляді графіків, рис. 5. [4]

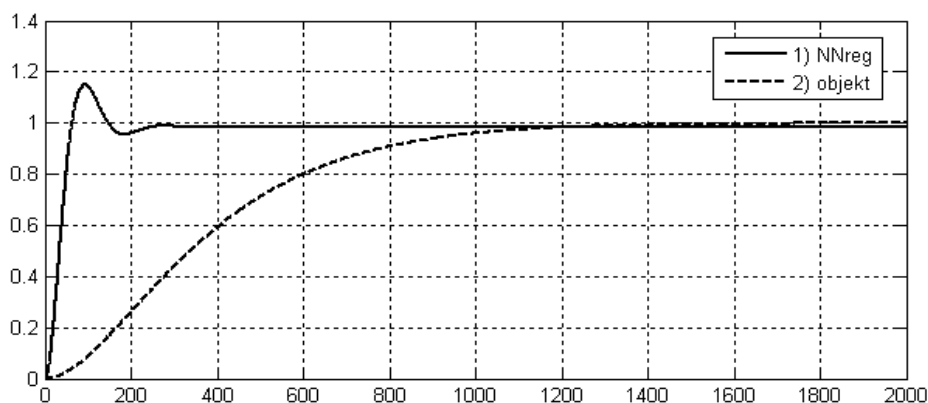


Рис. 5.

В даному випадку перехідний процес представляє собою графічну залежність реакції системи на одиничний вплив від часу моделювання, з шагом дискретизації 0,01 с. Як видно з представленого графіка об'єкт досягає значення усталеного режиму майже удвічі швидше за роботу при прямому пуску, хоча і має незначне перерегулювання, яке не перевищує установлену норму у 5 % від заданого значення.

Висновки. В роботі розглянуто принципи які покладено в основу створення інтелектуальних систем керування.

Розроблено структуру штучної нейронної мережі та вбудовано її у якості регулятора в систему керування двигуном постійного струму незалежного збудження, який є типовим для використання в будь-якій електроμηнічній системі.

За допомогою математичного моделювання проведено аналіз якості розробленої системи керування. З отриманих графіків можна зробити висновок, що розроблена система відповідає заданим принципам керування та встановленим показникам якості.

Список використаних джерел

1. Попов, Э.В. Искусственный интеллект. [Текст]: справочник / под ред. Э.В. Попова. – М.: Радио и связь, 1990. – Т.3, 363 с.
2. Блінцов С.В. Теоретичні основи автоматичного керування АПА [Текст]: Монографія – Миколаїв : НУК, 2014 р., 222 с.
3. Блінцов, С. В. Розробка оптимальних за швидкістю систем керування підводним апаратом в умовах невизначеності на базі штучних нейронних мереж. [Електронне видання] / С. В. Блінцов, Г. С. Грудініна // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування, 2009 р., (1).
4. Дьяконов В.А. Математические пакеты расширения MATLAB [Текст] / В. А. Дьяконов, В. В. Круглов // специальный справочник – СПб.: Питер, 2001., 480 с.

УДК 681.5*Зайцев О. О., магістр**Науковий керівник Білюк І. С., к.т.н. доцент**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв***ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА
МАСЛОНАСОСНОЇ СТАНЦІЇ РЕАКТОРНОГО ВІДДІЛЕННЯ АЕС**

У реакторному відділенні АЕС є потужне устаткування, робота якого вимагає організації безперервної подачі турбінного мастила під тиском для змащення та охолодження вузлів обертання механізмів. Тому у складі відповідного устаткування мають бути системи маслопостачання. Ця система є однією з тих, що забезпечують надійне та безпечне функціонування АЕС. Тому до якості її роботи висувають достатньо високі вимоги, зокрема до вимагаємих витрат мастила при мінімальному споживанні електричної енергії.

Серед методів, що забезпечують збільшення ефективності роботи і терміну служби насосного обладнання, все більш поширеним стає використання частотних перетворювачів. У порівнянні з усіма відомими механічними способами регулювання потоку рідини, що рухається по трубопроводу, контрольоване збільшення або зниження частоти обертання валу сприяє:

- економії електроенергії;
- зниження витоків рідини;
- більш надійного захисту електроприводу;
- збільшенню майже вдвічі довговічності насосного обладнання та трубопроводів.

У маслонуасосній станції застосовуються потужні електродвигуни для забезпечення більшої продуктивності насоса. Однак максимальна потужність двигуна необхідна лише у 10-20% від усього часу роботи насоса – в невеликий період пікового навантаження. Весь інший час двигун, не оснащений перетворювачем частоти, працює з тією ж високою швидкістю обертання валу, споживаючи при цьому більше на 30-60% електроенергії, ніж потрібно. Застосування частотного перетворювача дозволяє уникнути такої перевитрати електроенергії.

Плавні пуски насоса не тільки усувають гідроудари, але і знижують пускові струми двигуна, оберігаючи тим самим електропривод від перевантажень. Крім того, при плавних пусках електродвигуна вдається уникнути впливу ударних механічних навантажень на вузли кріплення приводу, з'єднувальні муфти, підшипники, вали [1, 2, 3].

У доповіді розглядається питання підвищення ефективності автоматизованого електропривода маслонуасосної станції за рахунок використання частотного керування асинхронним двигуном. Запропонований електропривод забезпечує: плавне включення і зупинку насосів, що знижує ймовірність гідравлічних ударів у системі; спрощення автоматичного регулювання із зворотним зв'язком за напором, тиском та іншим параметрам мережі; економію електроенергії.

Розроблено математичну модель системи керування автоматизованого електропривода, запропонована методика розрахунку ПІД –регулятора тиску мастила на виході насоса. Отримано перехідні процеси системи керування.

Список літератури.

1. Черкасский, В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры станки [Текст]: учебное пособие / В.М. Черкасский. – М.: Энергоатомиздат, 1984. - 416 с.
2. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов —М.: Академия, 2007. — 576 с.
3. Лезнов, Б.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок [Текст]: учебное пособие / Б.С. Лезнов. – М.: Машиностроение, 2013. — 176 с

УДК 681.5

*Карпенко М. В., магістр**Науковий керівник Білюк І. С., к.т.н. доцент**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ГОЛОВНОГО РУХУ КРУГЛОШЛІФУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА

Привод головного руху в верстатах з ЧПК має низку особливостей, що відрізняють його від приводів подачі: значно більші потужності; необхідність використання всієї потужності двигуна в великому діапазоні частот обертання шпинделя верстата; робота більшу частину часу на постійній заданій частоті обертання; великі моменти інерції, у багато разів перевершують власні моменти інерції двигунів на вищих передачах коробки швидкостей [1]. До приводів головного руху пред'являють, крім того, такі вимоги: відповідність діапазону регулювання частотам обертання шпинделя, необхідним для здійснення швидкохідних чистових операцій (з частотами обертання понад 500 об / хв), попередньої обробки та позиціонування шпинделя; забезпечення довготривалої роботи при використанні номінальної потужності; забезпечення безступінчатого регулювання частоти обертання і можливо меншого числа механічних передач перемикання частот обертання; забезпечення мінімального часу розгону і гальмування з метою зведення до мінімуму втрат часу при резьбонарезання і позиціонуванні шпинделя в режимі орієнтованого зупинки. Застосування сучасних систем ЧПК дозволяє задовільнити усім вимогам технологічного процесу.

У якості приводів головного руху зазвичай використовуються асинхронні електродвигуни, регулювання швидкості обертання яких найчастіше здійснюється за допомогою зубчатих коліс і муфт. Таке регулювання не завжди може задовольнити вимоги технологічного процесу обробки деталі.

Успішному розв'язанню задачі підвищення ефективності електроприводів верстатів сприяє використання комплектних електроприводів на базі перетворювачів частоти, що забезпечує економію енергоресурсів за рахунок точного урахування особливостей роботи виконавчих механізмів і поліпшення умов роботи електродвигунів. Крім того досягається збільшення терміну служби технологічного устаткування та зменшення витрат на його ремонт. Простота введення в експлуатацію перетворювачів частоти дозволяє значно підвищити продуктивність виробництва та знизити кількість необхідного устаткування на одиницю продукції [2].

У повідомленні розглянуто застосування перетворювачів частоти Lenze для підвищення ефективності електропривода головного руху круглошліфувального верстата [3]. Запропонований перетворювач частоти реалізує векторне керування частотою обертання асинхронного двигуна та забезпечує наступні основні функції: 1) пуск та регулювання швидкості двигуна; 2) прискорення, сповільнення та зупинка двигуна; 3) захист двигуна та перетворювача.

Проведено синтез, розроблена імітаційна модель та отримані перехідні характеристики запропонованої системи керування. Виконано порівняльний аналіз показників якості роботи електропривода головного руху з застосуванням різних параметрів налагодження регуляторів системи керування.

Аналіз отриманих результатів показав, що запропонована система керування здатна відпрацьовувати зміни навантаження при роботі електропривода головного руху та забезпечити точне регулювання швидкості.

Висновки: Використання перетворювачів частоти у електроприводі головного руху круглошліфувального верстата дозволяє забезпечити економію електроенергії, збільшити строк експлуатації технологічного обладнання та забезпечити точне регулювання робочих параметрів електродвигуна.

Список літератури:

1. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов — М. : Академия, 2007. — 576 с.
2. Комплектні електроприводи. Ч.3. Сервоелектроприводи :навчальний посібник / І. С. Білюк, Д. Ю. Шарейко, А. М. Фоменко, О. В. Савченко. – Миколаїв : НУК, 2018. – 210 с.

УДК 681.5

Сушко В. М., магістр

Науковий керівник Білюк І. С., к.т.н. доцент

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ШПИНДЕЛЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА

Широко універсальний фрезерний верстат призначений для фрезерування всіх видів поверхонь деталей циліндричними, дисковими і фасонними фрезами за допомогою горизонтального шпинделя, і торцевими, кінцевими і шпонковими фрезами за допомогою поворотного, в обидві сторони, вертикального шпинделя. Наявність двох шпинделів, горизонтального і поворотного вертикального, а також можливість встановити на верстаті велику кількість приладдя, робить його універсальним і незамінним для роботи в інструментальних цехах заводів при виготовленні пристосувань, інструменту, рельєфних штампів і інших виробів [1].

До електроприводів головного руху металорізальних верстатів пред'являються підвищені вимоги по точності швидкості обертання робочих органів. Більшість таких верстатів не задовольняє цим вимогам внаслідок фізичного і морального зносу і низької якості систем керування. Підвищення точності швидкості обертання робочого органу верстата з мінімальними витратами може бути досягнуто за рахунок модернізації системи керування електроприводом головного руху та точного підбору її параметрів налагодження. Від якості роботи системи керування залежить точність виготовлення деталі [2].

Виконано аналіз існуючої релейно-контакторної системи керування електропривода шпинделя та здійснено обґрунтований вибір системи частотного керування та її функціональної схеми. Обрані основні елементи модернізованої системи керування. Розраховані механічні характеристики асинхронного двигуна при частотному керуванні. Розроблено структурну схему систему частотного керування. Виконано розрахунок параметрів структурної схеми. Розроблено схему імітаційного моделювання перехідних процесів в системі частотного керування електропривода шпинделя спеціалізованого фрезерного верстата. Встановлено, що показники якості перехідних процесів задовольняють заданим (див. рисунок 1).

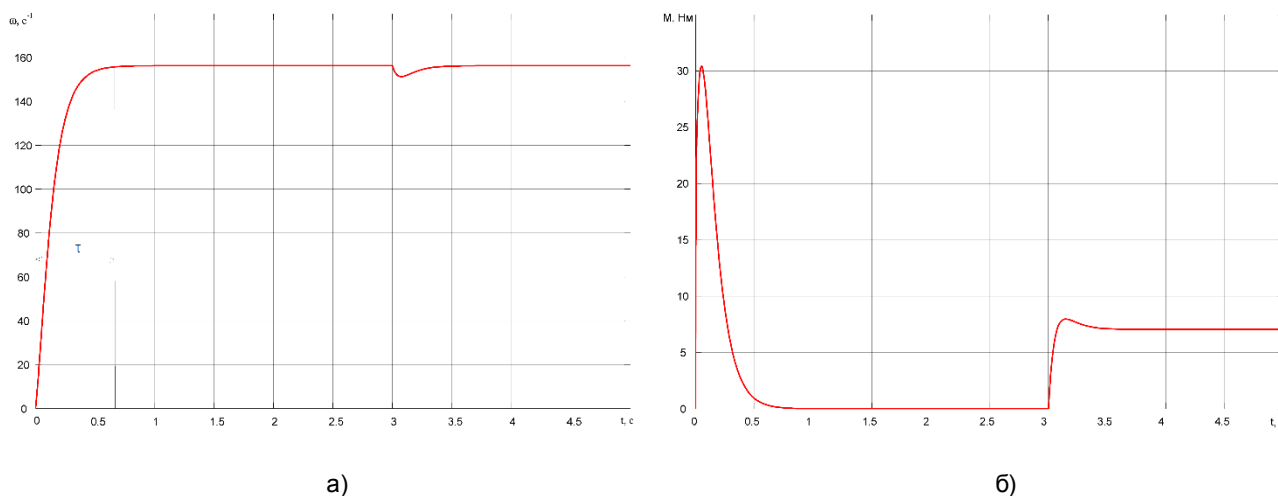


Рис. 1. Перехідні процеси системи керування електропривода шпинделя спеціалізованого фрезерного верстата: а) перехідний процес за кутовою швидкістю двигуна; б) перехідний процес за моментом на валу двигуна

Список літератури:

1. Багров, Б.М. Многоцелевые станки [Текст]: учебное пособие / Б.М. Багров, А.М. Козлов. – Липецк: ЛГТУ, 2004. – 193 с.
2. Попович, М.Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи [Текст] / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков – К.: Либідь, 2005. – 680 с.

УДК 621. УДК 681.5; 621.3.067

Марченко О. С., магістр

Науковий керівник Бугаріт Л. І. к.т.н., доцент

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ГОЛОВНОГО РУХУ РІЗЬБОФРЕЗЕРНОГО НАПІВАВТОМАТА

До електроприводів головного руху металорізальних верстатів пред'являються підвищені вимоги по точності швидкості обертання робочих органів. Більшість таких верстатів не задовольняє цим вимогам внаслідок фізичного і морального зносу і низької якості систем керування. Підвищення точності швидкості обертання робочого органу верстата з мінімальними витратами може бути досягнуто за рахунок модернізації системи керування електроприводом головного руху та точного підбору її параметрів налагодження. Від якості роботи системи керування залежить точність виготовлення деталі.

Одним зі способів підвищення ефективності системи керування електроприводом головного руху є застосування векторного керування без датчика зворотного зв'язку за швидкістю. Ця задача вирішується за допомогою датчика положення. У такій конфігурації привід змінного струму за якістю регулювання стає схожим з приводом постійного струму. Але у складі більшості стандартних електродвигунів змінного струму вбудовані датчики положення відсутні, оскільки їх введення неминуче призведе до ускладнення конструкції двигуна і суттєвого підвищення його вартості.

Застосування сучасної технології векторного керування дозволяє обійти це обмеження шляхом використання математичної моделі адаптивної двигуна для передбачення положення ротора. При цьому система керування повинна з високою точністю вимірювати значення вихідних струмів і напруг, забезпечувати розрахунок параметрів двигуна (опір статора, значення індуктивності розсіювання і т.д.), точно моделювати теплові характеристики двигуна, погоджувати параметри двигуна з різними режимами його роботи, здійснювати великий обсяг обчислень з дуже високою швидкістю. Остання забезпечується застосуванням у складі системи керування перетворювача спеціалізованих інтегральних схем ASIC (Applications Specific Integrated Circuit).

Векторне керування без датчиків зворотного зв'язку за швидкістю дозволяє забезпечити динамічні похибки, характерні для регульованого приводу з замкнутим зворотнім зв'язком. Однак повне керування моментом при швидкості, близької до нульової, неможливо без зворотного зв'язку за швидкістю. Такий зворотній зв'язок стає необхідною і для досягнення похибки регулювання менше 1%. Контур зворотного зв'язку при цьому легко реалізується за допомогою самого перетворювача частоти [1, 2].

У повідомленні розглянуто структуру векторної системи керування електропривода головного руху різьбофрезерного напівавтомата без датчика зворотного зв'язку за швидкістю. Обрано основні елементи системи керування, розраховано їх параметри. Розроблено імітаційну модель запропонованої системи та отримані перехідні процеси (див. рисунок 1). Встановлено, що показники якості перехідних процесів задовольняють заданим.

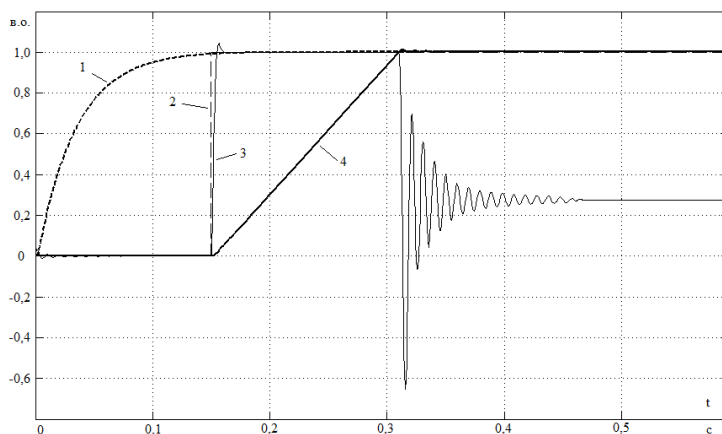


Рис. 1. 1 – потокозчеплення ротора; 2 – завдання за швидкістю; 3 – струм статора; 4 – швидкість ротора
Рисунок 1 – Графіки перехідних процесів

Список літератури:

1. Виноградов, А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / А.Б. Виноградов —

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет». – Иваново, 2008. – 298 с.

2. Качин, С.И. Электрический привод: учебно-методическое пособие / С.И. Качин, А.Ю. Чернышев, О.С. Качин — Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 157 с.

УДК 621. УДК 681.5; 621.3.067

Семенюк Ю. О., магістр

Науковий керівник Бугрім Л. І. к.т.н. доцент

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА СИСТЕМИ ЗРОШЕННЯ

В сучасних умовах розвитку зрошувального садівництва та овочівництва найбільшого поширення набули технології і системи крапельного зрошення. Крапельне зрошення є ресурсозберігаючої, екологічно безпечною технологією, яка відповідає всім вимогам сучасного рівня виробництва. Воно особливо ефективне при дефіциті водних та земельних ресурсів, у звичайній місцевості, при близькому заляганні рівня ґрунтових вод, на малопотужних водопроникних ґрунтах.

Система крапельного зрошення плодових культур це сукупність технологічно і технічно пов'язаних між собою технічних засобів, призначених для вилучення, очищення, транспортування і розподілу поливної води на ділянці зрошення за допомогою водовипусків. Насосна станція (насосний агрегат) призначена для забору розрахункової кількості води з джерела зрошення і подачу її під необхідним тиском в зрошувальну мережу.

Основною задачею системи керування електропривода насосних агрегатів є керування приводом основних насосів на протязі всього робочого процесу. Для забезпечення необхідних умов експлуатації насосних агрегатів необхідно точне регулювання швидкості обертання привода основних насосів [1].

Щоб забезпечити неперервний процес роботи, необхідно не тільки забезпечити плавний пуск і зупинку насоса, але й потрібно підтримувати постійну швидкість обертання механізму на протязі всієї роботи.

Для підвищення ефективності автоматизованого електропривода насосного агрегату запропоновано використання комплектного електропривода фірми Siemens «Micromaster» [2].

Перетворювачі «Micromaster» є трифазними перетворювачами частоти для регулювання швидкості обертання двигунів змінного струму. Перетворювачі оснащуються мікропроцесорним керуванням і відрізняються найсучаснішою технологією IGBT - біполярний транзистор з ізолюваним керуючим електродом. Завдяки цьому вони надійні й універсальні.

У повідомленні розглянуто структуру системи керування електропривода насоса. Запропоновано систему керування зі зворотним зв'язком за тиском води на виході насосного агрегату. Проведено розрахунок параметрів налагодження регуляторів, розроблено імітаційні моделі та отримані перехідні характеристики синтезованої системи керування. Синтезована система керування дозволяє отримати аперіодичний характер перехідних процесів за швидкістю та тиском. Проведено аналіз отриманих перехідних процесів.

Виконаний аналіз динаміки системи керування показав, що система здатна відпрацьовувати зміни навантаження при роботі електропривода та забезпечити точне регулювання швидкості електропривода насосного агрегату та, відповідно забезпечення необхідного тиску у системі зрошення.

ВИСНОВКИ. Використання асинхронного комплектного електропривода Siemens «Micromaster» дозволяє: 1) підвищити якість керування; 2) збільшити строк експлуатації електропривода; 3) зменшити масогабаритні показники системи керування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.

1. Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов — М. : Академия, 2007. — 576 с.

2. Siemens-ukraine [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http:// www.siemens.com/](http://www.siemens.com/)

УДК 681.5

*Кисіль А. В., Савченко О. В., Гараєв К. Р., Фоменко Л. А.**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв***БЕЗДАТЧИКОВИЙ КОМПЛЕКТНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД**

Верстатний парк в нашій країні давно не оновлювався, багато верстатів з морально застарілими системами ЧПК вимагають модернізації. Як правило, механічна частина на такому обладнанні знаходиться в задовільному стані, а електроніка, електроавтоматика і привід потребують реконструкції та капітального ремонту. Модернізація верстатів ЧПК неминуха з причин нових вимог, що пред'являються до сучасного верстатного парку. Збільшення точності, підвищення продуктивності, необхідність повністю автоматизувати відповідну ділянку виробничого процесу, зниження частки браку – без виконання цих умов надзвичайно важко витримати жорстку конкуренцію. Застарілі системи знижують продуктивність, вимагають періодичного кваліфікованого ремонту та технічного обслуговування. Крім того, виникає проблема інтеграції верстатів з ЧПК в сучасні автоматизовані системи управління виробництвом. Важливо і те, що сучасна апаратура керування електроавтоматикою верстатів з ЧПК за сучасними вимогами вимагає застосування повної реалізації можливостей мережевої дистанційної налашки ЧПК. В результаті виникає потреба підключення верстатів на більш високопродуктивні мережеві засоби. Тому метою дослідження є відпрацювання загальних положень щодо удосконалення систем керування електроприводів промислових установок з керуванням натягненням на основі бездатчикового комплектного електропривода. Завдання побудови високоякісного асинхронного електроприводу з векторним керуванням без використання будь-яких датчиків, розміщених на валу або вбудованих у двигун, постійно привертає увагу розробників з моменту появи самого терміна «векторне керування» стосовно асинхронного двигуна на початку 1970-х років. Область застосування таких електроприводів визначається наступними умовами [1]:

- механізм висуває підвищені вимоги до швидкодії приводу;
- в приводі потрібне регулювання електромагнітного моменту на валу двигуна;
- не потрібна висока статична точність і широкий діапазон регулювання швидкості (діапазон не більше 100);
- встановлення датчика швидкості на вал двигуна неможливе за умовами експлуатації, технологічним, вартісним або іншим обмеженням. Типовими об'єктами є електроприводи (ЕП) підйомно-транспортних засобів, механізмів намотування, екструдерів, працюючих в пожежонебезпечних, вибухонебезпечних, хімічно і радіоактивних середовищах, в умовах підвищених вібрацій і ударних механічних навантажень. Структурна схема системи адаптивно-векторного керування асинхронним електроприводом наведена на рисунку 1 [2]. Векторний регулятор струмів включає в себе ПІ- регулятори складових вектора струму статора по осях d і q , орієнтованим за оцінкою кутового положення вектора потокозчеплення ротора, і блок компенсації перехресних зв'язків. Перетворювач напруг включає в себе обмежувач заданої напруги статора по осях d і q і перетворювач координат: ортогональна система (d, q) – полярна система – природна трифазна система (a, b, c) , нерухома відносно статора, і блок компенсації запізнення системи керування.

Векторний модулятор реалізує «трикутний» алгоритм просторово- векторного формування вихідної напруги IGBT-інвертора з функцією компенсації «мертвого часу і затримок переключення силових ключів. Спостерегач стану реалізує обчислення всіх змінних і параметрів двигуна, необхідних для реалізації алгоритму адаптивно-векторного керування, за інформацією про двох фазних струмах статора і двох заданих значеннях фазних напруг. Блок адаптації виконує перерахунок параметрів регуляторів системи керування в залежності від відхилення параметрів двигуна, що проявляється в процесі роботи двигуна.

Структурна схема спостерегача стану наведена на рисунку 2. Для обчислення необхідних змінних вводиться ортогональна система координат (x, y) , що обертається синхронно з частотою поля. Її кутове положення не фіксується щодо будь-якої змінної або осі двигуна і може бути довільним, тобто «плаваючим». Принциповими факторами є кутове положення, а синхронність системи (x, y) , яка забезпечує в сталих режимах роботи двигуна постійні значення обчислюваних змінних, а також її відносно висока інерційність (швидкість зміни кутового положення повинна бути обмежена), що забезпечує бажану ступінь стійкості цифрових обчислювальних алгоритмів. В якості частоти обертання системи координат (x, y) можуть прийматися змінні, величина яких в сталих режимах роботи дорівнює частоті обертання поля. Це можуть бути частоти обертання векторів потокозчеплень, відфільтровані значення частот обертання векторів напруги або струму статора.

Аналіз представлених діаграм і інших результатів дослідження чутливості [3] дозволяє зробити наступні висновки:

- найбільш чутливий електропривод до зміни активного опору статора, яке відчутно впливає як на статичні, так і динамічні характеристики;

- зміна активного опору ротора впливає на статичну помилку у швидкості і не впливає на точність орієнтації системи за вектором потокозчеплення ротора і на динамічні характеристики приводу. Статична помилка у швидкості є функцією навантаження і не залежить від рівня швидкості;
- зміна взаємної індуктивності незначно позначається на орієнтації та динамічних характеристиках приводу при роботі на швидкостях, менших номінальної. Статична помилка в швидкості зростає з ростом навантаження і при роботі з постійним потокозчеплення ротора не залежить від рівня швидкості;
- зміна індуктивностей розсіювання у зв'язку з насиченням зубцевої зони двигуна потоками розсіювання помітним чином проявляється при кратностях струму статора, що перевищують (2-3) від номінального значення і, як правило, не перевищує 30 %-ного зниження щодо свого ненасиченого значення, навіть при струмах прямого пуску двигунів на номінальну напругу;

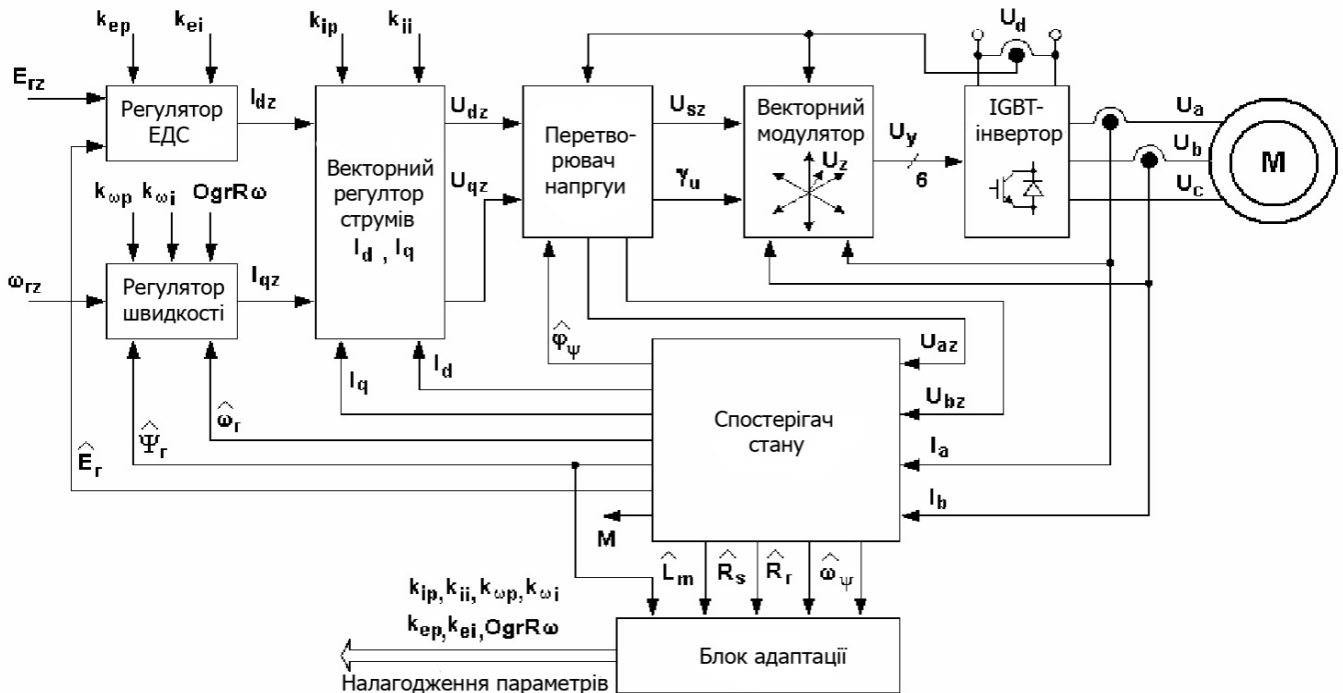


Рис.1

- дослідження чутливості електроприводу до величини «мертвої зони» перемикання транзисторів інвертора показали, що у разі коректної параметричної настройки приводу саме наявність «мертвої зони» є чинником, що обмежує діапазон регулювання приводу вниз від номінальної швидкості. Це проявляється у зростанні на малих швидкостях низькочастотних (шестикратних по відношенню до періоду основної гармоніки) пульсацій в швидкості і в електромагнітних змінних приводу. Величина цих пульсацій зростає із збільшенням частоти модуляції і величини «мертвої зони». Причина пульсацій полягає у відхиленні реальної напруги статора від його заданого значення, сформованого без урахування тимчасових затримок перемикання ключів інвертора.

Список літератури:

1. Виноградов А. Б. Адаптивная система векторного управления асинхронным электроприводом / Виноградов А. Б., Чистосердов В. Л., Сибирцев А. Н. / Электротехника. 2003. № 7.
2. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. вузов/ В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. - 3-е изд., стер. - М.: Издательский центр "Академия", 2008. - 304с.
3. Проблеми бездатчикових електроприводів/ І.С.Білюк, Д.Ю. Шарейко, А.М. Фоменко, О.В.Савченко, В.В. Борсук // Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». –Миколаїв: НУК, 2018. — С. 326–328.

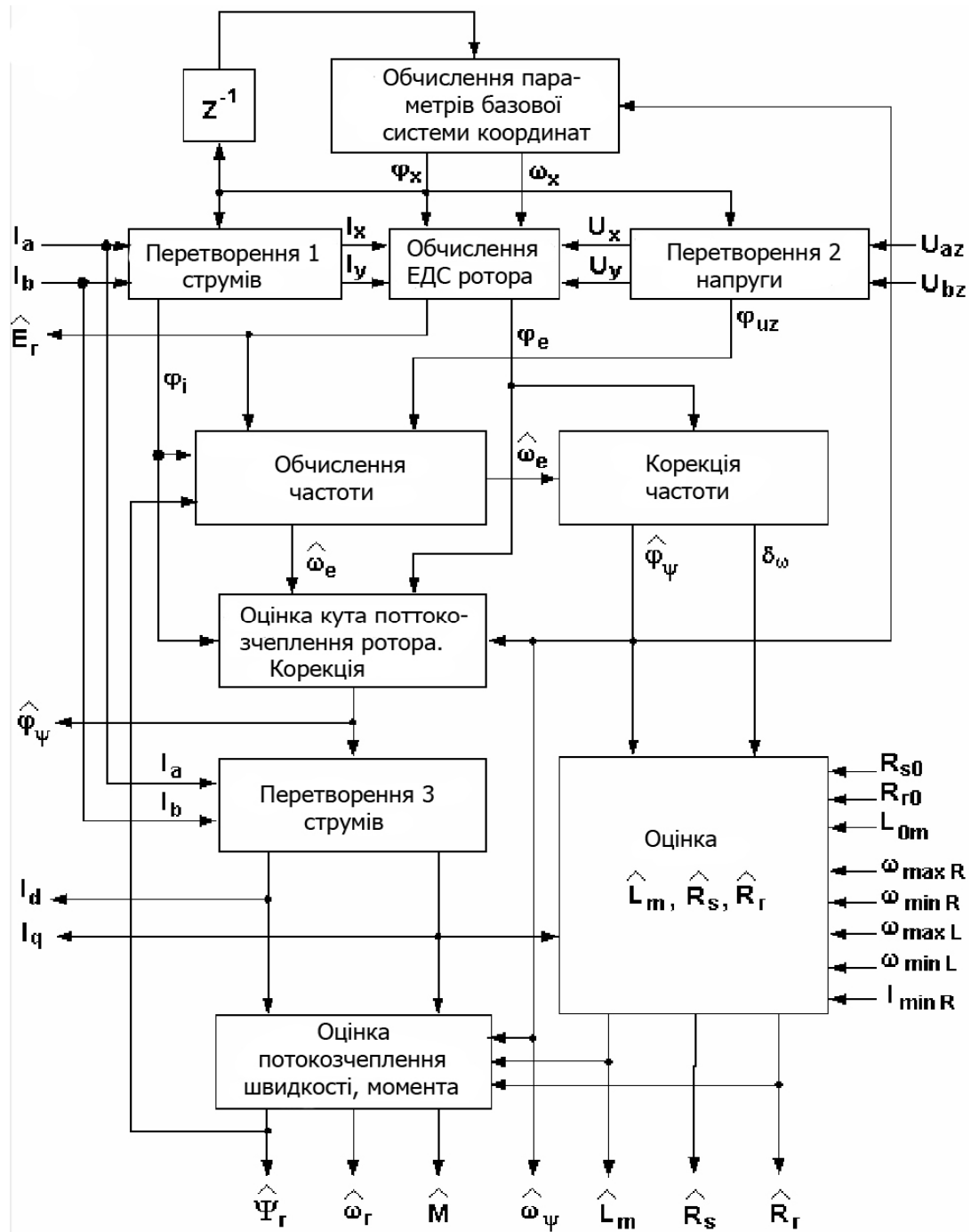


Рис. 2.

УДК 681.5

Партола Є. О., Савченко О. В., Гараєв К. Р., Фоменко Л. А.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

НЕЛІНІЙНІ АДАПТИВНІ РЕГУЛЯТОРИ В КОМПЛЕКТНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ

Аналіз літератури показав, що в сучасних системах керування використовуються такі види регуляторів, як ПД та ПІД-регулятори. Одночасне використання таких регуляторів в системі призводить до того, що поліпшення одного з показників якості керування автоматично погіршує інші тому параметри регуляторів потрібно переналаштовувати для переходу з одного режиму в інший. Отже постає питання автоматичного переналаштування параметрів регуляторів, зокрема адаптивного регулятора. Але подібну проблему можна розв'язати за допомогою нелінійного регулятора. Сучасні комплектні електроприводи (КЕП) не використовують у своїй структурі адаптивний регулятор (АР), а також нелінійні регулятори (НР) [1]. Використання адаптивних регуляторів, як окремих блоків у електроприводах може показатись недоцільним, так як КЕП мають в своїй структурі програмований логічний контролер, за допомогою якого програмно задавати параметри регуляторів. Проте наявність НР дає системі бути більш швидкодією. Крім того, окремий НР розвантажує логічний контролер, який замість установки параметрів регулятора може займатись такою операцією, як контроль за швидкістю двигуна, слідкування за часом роботи двигуна тощо. Заощаджений час суттєво вплине на роботу всього електроприводу, тому питання повернення у структуру КЕП окремого блоку нелінійного адаптивного регулятора є актуальним [2]. Для ілюстрації такої автоматичної системи, в якій виробляється корекція динамічних параметрів одночасно двох ланок, розглянемо систему, структурна схема якої представлена на рисунку 1 [3]. Схема складається з датчика і трьох каскадів підсилювачів У1, У2, У3 та виконавчого двигуна, з'єднаного через редуктор з об'єктом керування.

Будемо вважати, що для поліпшення параметрів системи нелінійні коригувальні пристрої використовуються таким чином, щоб зменшити сталі часу підсилювачів У1 та У3.

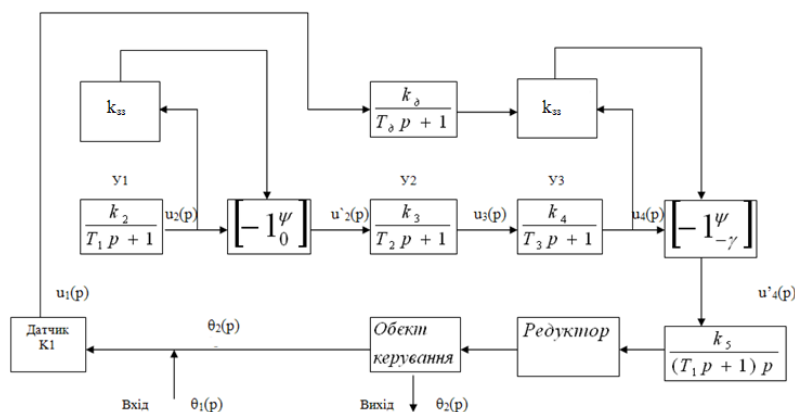


Рис. 1.

При цьому будемо розглядати нелінійні коригувальні сигнали типу $[-1 \ 0]^\varphi$ і $[0 \ -y]^\varphi$. Коригувальний сигнал формується при порівнянні знаків вихідного сигналу u_4 і сигналу ланки u_1 . Для регулювання кута попередження у включено додаткову інерційну ланку з постійною часу T_9 . Величина постійної часу T_9 підбирається таким чином, щоб забезпечити необхідну величину попередження у. Основною перевагою адаптивних регуляторів є можливість автоматичного переключення з лінійного режиму в нелінійний та навпаки. Тому існує можливість перемикання регулятора, який працює в лінійному режимі доки система переходить до номінального режиму роботи, а потім переходить у нелінійний режим.

Розрахунки дозволяють зробити наступний висновок, коефіцієнт посилення в системах при введенні нелінійних динамічних коригувальних пристроїв може бути збільшений приблизно в 3 рази порівняно з коефіцієнтом посилення лінійної системи. Це збільшення є досить суттєвим. Також, застосування слизької муфти дозволяє формувати ефективні нелінійні коригувальні сигнали. З'ясовано, що при введенні в систему нелінійного коригувального сигналу збільшився критичний коефіцієнт посилення. Частота коливань при цьому також зросла, що свідчить про те, що система стала більш швидкодією. Точність системи при введенні нелінійної корекції суттєво зросла (пропорційно коефіцієнту посилення).

Список використаних джерел

1. Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых про-изводственных механизмов и технологических комплексов / М. П. Белов, В. А. Новиков, Н. Л. Рассудов; учебник для студ. высш. учеб. заведений. – 3-е изд., испр. – М. : Издательский центр "Академия", 2007. – 576 с.
2. Применение новых адаптивных регуляторов в системах стабилизации скорости двигателей постоянного тока Л. А. Краснодубец // Вестник СевНТУ. Автоматизация процессов и управление: сб. науч. тр. — Севастополь, 2010. — Вып. 108 — С. 213-217.
3. Хлыпало Е.И. Нелинейные корректирующие устройства в автоматических системах Энергия, 1973 341с.

УДК 681.5

*Хуторянський В. О., магістрант; Куропятник С. А., магістрант;
Науковий керівник Гаврилов С. О., к.т.н., доцент кафедри автоматичної
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

БАГАТОДВИГУННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ДИФУЗІЙНОГО АПАРАТА

Виробництво цукру займає одне з перших місць серед галузей харчової промисловості. У світі налічується понад 1500 тростинно-цукрових і близько 1000 цукробурякових заводів, в тому числі понад 800 заводів в Європі [1]. Для екстрагування цукру з бурякової стружки застосовуються дифузійні установки безперервної дії. Після проходження стружкою протитечіного ошпарювача і колонного дифузійного апарата (КДА) з неї виходить дифузійний сік високої чистоти з високим вмістом сухих речовин і низькою температурою. КДА служить для екстрагування сахарози з клітин бурякової стружки в системі «тверде тіло-рідина» із застосуванням принципу протитечі. Дифузійний апарат складається з циліндричного вертикального корпусу з контрлопатями, транспортного вала (трубовала) з насадженими на нього транспортними і розподільчальними лопатями, привода трубовала, розвантажувальних шнеків і нижньої частини з бічними ситами.

Прийнята в практиці типова схема індивідуального електропривода машин дифузійного апарата на основі двигуна постійного струму вже досить застаріла. Такий принцип керування накладає суттєві обмеження на регульовальні властивості і технологічні можливості виробництва, ускладнює автоматизацію технологічного процесу, а наявність зазорів і пружності в розгалужених кінематичних ланцюгах призводить до виникнення коливань, що знижують якість продукції. Для збільшення продуктивності існуючих дифузійних апаратів використовують різні варіанти модернізації. На сьогодні одним з ефективних рішень є заміна нерознімного зубчастого вінця КДА з приводом від електродвигуна постійного струму на сегментований зубчастий вінець з планетарними редукторами і групою електроприводів змінного струму. Важливими аспектами при цьому є висока відмовостійкість в ході цукробурякового сезону і передача обертового моменту з малим зносом обладнання [2].

Метою роботи є синтез системи керування багатодвигунного електропривода дифузійного апарата.

В якості об'єкта керування в роботі розглянуто колонний дифузійний апарат КДА-30 [3]. З метою розширення функціональних можливостей дифузійного апарата, забезпечення незалежного регулювання технологічних параметрів, оптимізації режимів роботи, можливості гнучкої перебудови агрегатів і програмного керування ними, застосовано групу частотно-регульованих асинхронних електроприводів [4]. Для забезпечення сталої перевантажувальної здатності асинхронних двигунів та відстеження параметрів системи з високою точністю застосовано векторне керування. Висока ефективність алгоритмів прямого керування моментом дозволяє віднести такі системи до найбільш перспективних способів керування електроприводів змінного струму [5]. Подібні системи доцільно використовувати для електроприводів механізмів і технологічних комплексів з важкими умовами експлуатації і жорсткими вимогами щодо швидкодії. Багатодвигунний електропривод дифузійного апарата побудовано на частотних перетворювачах, які з'єднано між собою за схемою "Master-Follower". В такій системі виділяють ведучі та ведені пристрої [6]. Задане значення частоти обертання подається тільки на головний привід по шині, до якої підключені всі інші перетворювачі частоти. При цьому використовується функція DTC перетворювачів частоти. Згідно поставленої мети, в роботі також розглянуто динаміку електропривода обертання трубовала КДА за допомогою програмного пакету MATLAB. Отримано перехідні характеристики. Аналіз результатів дослідження якості показав, що розроблена система керування має динамічні показники, які цілком задовольняють вимогам.

Висновки. В роботі проаналізовано конструкцію, технічні характеристики та розглянуто принцип дії дифузійного апарата. Розроблено функціональну схему електропривода з DTC-алгоритмом керування для обертання трубовала та обґрунтовано вибір її елементів. Складено математичний опис об'єкта керування та елементів системи керування, виконано розрахунок їх параметрів. Досліджено динаміку електропривода в пакеті MATLAB. Слід відзначити, що завдяки регульованій пусковій лінійній характеристиці перетворювачів частоти забезпечується щадна експлуатація обладнання з малим зносом і максимальною відмовостійкістю.

Список використаних джерел

1. Сапронов А. Р. Технология сахарного производства. 2-е изд., исправл. и доп. [Текст] / А. Р. Сапронов. – М.: Колос, 1999. – 495 с.
2. Автоматизация технологических процессов // БМА Руссланд. – Режим доступу: http://bmarussland.ru/bma_docs/sahar/Extraktion_ru.pdf
3. Гребенюк С. М. Технологическое оборудование сахарных заводов. Учебник [Текст] / С. М. Гребенюк. – М.: Колос, 2007. – 520 с.
4. Пагурець А. О. Модернізація електропривода цукробурякової дифузійної установки / А. О. Пагурець, С. О. Гаврилов // Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів та молодих вчених "Автоматика та електротехніка". – 2016. – Режим доступу: <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://conference.nuos.edu.ua/catalog/files/lectures/38722.pdf>
5. Макогонов Д. А. Алгоритми сучасних та перспективних систем керування асинхронних електроприводів / Д. А. Макогонов, С. О. Гаврилов // Автоматика та електротехніка: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених [Електронний ресурс]. – Миколаїв: НУК, 2017. – С.26-27. – Режим доступу: https://drive.google.com/file/d/1lksAjwnIAHRWRi4ilX1_gmRffEmbnVvr/view
6. Arshed A. Saher PLC based Multi Three-Phase Induction Motors Motion Controller [Text] / A. Saher Arshed // International Journal of Computer Applications. – 2017. – V. 175 – No.1. – P.37-44.

УДК 681.5

Позивайло А. В., магістрант; науковий керівник Гуров А. П., к.т.н., професор, професор кафедри автоматизації; Гаврилов С. О., к.т.н., доцент кафедри автоматизації

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Основний сенс використання регульованого електропривода і систем автоматичного керування в насосних установках полягає в тому, щоб привести у відповідність режим роботи насосів з режимом роботи водопровідної або каналізаційної мережі. Регулюванням частоти обертання насоса його робочі параметри приводяться у відповідність з режимом роботи водопровідної або каналізаційної мережі. Щоб змінити частоту обертання насоса, його оснащують регульованим приводом, тобто регульований привід є свого роду виконавчим пристроєм, що змінює частоту обертання насоса [1].

Необхідність стабілізації напору в системах водопостачання та водовідведення обумовлена змінним характером режиму водоспоживання, що вимагає безперервних змін в режимі роботи насосних агрегатів. Зміни повинні бути здійснені таким чином, щоб підтримувалися необхідні значення технологічних параметрів (витрати, напору) в системі в цілому і одночасно забезпечувалося мінімально можливе енергоспоживання насосної установки. Це завдання вирішується системою автоматичного регулювання, яка стабілізує напір в мережі по заданому значенню. Така система складається з насосного агрегату, який укомплектовано регульованим електроприводом, датчика тиску, регулятора тиску, задавального пристрою і каналів зв'язку між перетворювачем і регулятором [2].

Метою роботи є розробка автоматизованого електропривода насосної установки водопостачання із застосуванням сучасних технічних рішень для забезпечення економії електричної енергії та регулювання електропривода при зміні режимів роботи.

В якості об'єкта керування в роботі розглянуто насосну станцію 3 NKVE 15/8 Т, яку призначено для підвищення тиску води цивільного, сільськогосподарського та промислового призначення [3]. Регулювання швидкості обертання робочих коліс відцентрових насосів побудовано за допомогою перетворювачів частоти, що забезпечують керування приводними асинхронними електродвигунами в широкому діапазоні зміни частоти. При цьому за допомогою перетворювача частоти за сигналом від датчика тиску, встановленого в напірному трубопроводі автоматично змінюються частоти обертання робочих коліс насосів, оперативно реагуючи на зміну витрати рідини і забезпечуючи підтримку заданого тиску з високою точністю. Застосування перетворювачів частоти забезпечує наступні переваги в порівнянні з іншими методами: ефективне використання асинхронних електродвигунів, дешевих в експлуатації та ремонті; ККД електродвигуна у всьому діапазоні регулювання максимально відповідає ККД електродвигуна в номінальному режимі; плавний пуск електродвигуна, відсутність гідравлічних ударів; зниження рівня шуму під час пуску і роботи; автономна безпечна робота, інтеграція в АСК ТП.

При побудові моделі асинхронного електропривода використано лінійну модель асинхронного електродвигуна, оскільки при стабілізації напору (тиску) система працює в малих відхиленнях щодо робочої точки стабілізації. При вирішенні завдання синтезу регулятора напору для автоматизованого електропривода насосної установки водопостачання, з умов забезпечення бажаного/необхідного перехідного процесу, в роботі виконано налашту-

вання на модульний (технічний) оптимум. Для організації автоматичного підстроювання коефіцієнтів класичного ПІД-регулятора в регуляторі напору використано нечітку логіку. Такий підхід виявляється більш зручним у зв'язку з простотою використання, ніж адаптивне керування або застосування ускладнених регуляторів стану. Аналіз результатів дослідження якості керування показав, що керування за допомогою ПІД-подібного нечіткого регулятора показує хороші результати [4]. Для оцінки ефективності регульованого електропривода в роботі було використано методику оцінки ефективності регульованого електропривода в насосних установках систем водопостачання та водовідведення [5].

Висновки. У процесі дослідження побудовано модель асинхронного електропривода системи водопостачання, проведено імітаційне моделювання регульованого асинхронного електропривода в MATLAB. Методика оцінки ефективності регульованого електропривода, яку використано в роботі, дозволяє надійно і об'єктивно прогнозувати техніко-економічні показники ефективності застосування регульованого електропривода в системах автоматизації насосних установок з досить високою точністю.

Список використаних джерел

1. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках [Текст] / Б. С. Лезнов. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.
2. Лезнов, Б. С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок [Текст] / Б. С. Лезнов. – М.: Машиностроение, 2013. – 176 с.
3. Насосные станции с ПЧ 2-3-4 NKVE 10-15-20-32-45 MCE-P // Сайт DAB Water Technology Russia. – Режим доступу: <https://dabpump.ru/upload/iblock/93b/93be1fd035d0147df1f2965498a151bc.pdf>
4. Динаміка асинхронного електропривода з нечітким регулятором в системах водопостачання [Електронний ресурс] / І. С. Білюк, Л. І. Бугрім, С. О. Гаврилов, О. С. Кириченко, А. М. Фоменко, Д. Ю. Шарейко // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Електронне видання. – Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Т. 9, № 1. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/170/174>
5. Лезнов Б. С. Методика оценки эффективности применения регулируемого электропривода в водопроводных и канализационных насосных установках [Текст] / Б. С. Лезнов. – М.: Машиностроение, 2011. – 88 с.

УДК 681.5

Твердовський О. С., магістрант; науковий керівник Гаврилов С. О., к.т.н., доцент кафедри автоматики Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ПОЗИЦІЙНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ЗВАРЮВАЛЬНОГО МАНІПУЛЯТОРА

Устаткування для механізованого (напіваавтомати) і автоматизованого (автомати) зварювання постійно вдосконалюється, модернізується з метою отримання швів високої якості, зниження енерго- і ресурсозатрат, полегшення умов праці операторів, ремонтного та обслуговувального персоналу [1]. Аналіз конструкцій обладнання, яке знаходиться в експлуатації, у виробництві і знову розробляються, показує, що його основними вузлами, поряд з джерелом зварювального струму, є електроприводи, які найбільш схильні до вдосконалення внаслідок особливостей його використання і елементної бази.

Важко переоцінити роль електроприводів в технічних об'єктах взагалі і в зварювальному обладнанні зокрема. Технічні можливості електроприводів багато в чому визначають реалізацію технологічних можливостей і прийомів роботи зварювального устаткування і обладнання для суміжних технологій. Від технічних характеристик електроприводів зварювального устаткування залежать його техніко-технологічні можливості, а, в результаті, застосування і конкурентоспроможність на ринку. Крім цього, слід зазначити, що сучасні електроприводи з новими характеристиками регулювання і керування істотно впливають на питання ціноутворення і тому вибір електропривода для зварювального обладнання – багатофакторне завдання.

У механізованому устаткуванні переважне застосування електроприводів здійснюється в системах подачі електродного і присадного дроту, а в автоматизованому обладнанні в системах зварювального переміщення, коригування положення електрода щодо зварювального переміщення, а також для здійснення установки вильоту і коливань при розкладці швів, при цьому деякі функції електроприводів можуть поєднуватися. Крім цього в численному обладнанні, що входить до складу робочих місць зварників (обертачі, маніпулятори, засоби контролю за зваренням швом та ін.), також застосовуються різні електроприводи [2]. Особливості використання електроприводів в зварювальному обладнанні включають в себе наступне: для регульованих електроприводів діапазон регулювання 1:10, 1:15; захищеність від впливу факторів, які супроводжують горіння зварювальної дуги; можливість вибору номінальної частоти обертання валу 1000-5000 об/хв для стандартних електродвигунів; захищеність від електромагнітної перешкоди як слідства зміни в широких межах значення струму в зварювальному ланцюзі; малі масогабаритні показники, прийнятні для установки в мобільне зварювальне обладнання; показники характеристик, що визначають високі динамічні властивості.

Метою роботи є синтез системи керування електропривода нахилу планшайби зварювального маніпулятора.

В якості об'єкта керування в роботі розглянуто зварювальний маніпулятор моделі М 11050А призначений для обертання виробів зі зварювальною швидкістю при автоматичному зварюванні кругових швів під шаром флюсу або в захисному середовищі вуглекислого газу, а також для встановлення виробів у зручне положення при автоматичному або ручному зварюванні [3]. За своїм призначенням привод нахилу планшайби зварювального маніпулятора повинен забезпечити нахил планшайби з фіксованою швидкістю в задане положення з необхідною точністю. Отже на базі аналізу сучасних систем керування електроприводів змінного струму в роботі обрано скалярне керування. Завдяки скалярному керуванню забезпечується стала перевантажувальна здатність асинхронного двигуна, що не залежить від частоти напруги. В якості приводного двигуна використано мотор-редуктор GKS09-4MHAR [4], а в якості перетворювача частоти обрано 8400 Motec.

При вирішенні завдання синтезу регуляторів для автоматизованого електропривода, з умов забезпечення бажаного/необхідного перехідного процесу, в роботі виконано налаштування регуляторів швидкості та положення на модульний (технічний) оптимум, при якому передбачаються невелике перерегулювання і відносно висока швидкодія. При цьому реалізація замкненого контуру регулювання положення здійснюється за допомогою програмного ПІД-регулятора перетворювача частоти. В роботі розглянуто динаміку моделі автоматизованого електропривода нахилу планшайби зварювального маніпулятора за допомогою програмного пакету MATLAB. Отримано перехідні характеристики.

Висновки. В представленій роботі досліджено склад та призначення механічного зварювального обладнання. Складено опис зварювального маніпулятора М 11050А та на базі аналізу його електрообладнання розроблено функціональну схему системи керування електропривода нахилу планшайби. Наведено математичний опис об'єкта керування та елементів системи керування, виконано розрахунок їх параметрів. Досліджено динаміку системи керування. Аналіз результатів дослідження якості керування показав, що досліджуваний позиційний електропривод має показники, які цілком задовольняють вимогам, що пред'являються до електроприводів зварювального обладнання.

Список використаних джерел

1. Патон Б. Е. Проблемы сварки на рубеже веков [Текст] / Б. Е. Патон // Сварка и родственные технологии в 21 век : сб. тр. междунар. конф. – К., 1998. – С.5-12.
2. Лебедев В. А. Электроприводы в современном механизированном и автоматизированном оборудовании для дуговой сварки [Текст] / В. А. Лебедев // Электротехнические и компьютерные системы. Автоматизированные электромеханические системы. – 2013. – № 11 (87). – С.7-16.
3. Вращатели сварочные моделей: М 11050А, М 21050А, М 31050А, М 33050. Руководство по эксплуатации. Ужгород. 1986.
4. Конічно-циліндричні мотор-редуктори Lenze серії GKS // Привідна техніка Lenze в Україні – Режим доступу: <http://www.lenze.org.ua/>

УДК 621.865.8

Косячний Д. Е., студент гр.6371м

Науковий керівник: канд. техн. наук, професор Гуров А. П..

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

КЕРУВАННЯ КРОКОВИМИ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИМИ ДВИГУНАМИ

Субмікронний діапазон похибок лінійного позиціонування та секундний діапазон для кутових переміщень характерний для сучасних металообробних верстатів, оптико-механічних приладів, мікроманіпуляторів і т.д. В основному для точкової пайки або для виконання іншої точної роботи використовуються мікроманіпулятори, в якості приводів яких використовуються п'єзоелектродвигуни. Різними авторами були виконані такі задачі як формування математичної моделі п'єзодвигуна в статичному та динамічному режимі, побудовані його характеристики. Однак комплексні дослідження впливу параметрів на їх ефективність у літературі відсутні. Тому вирішення даної задачі є актуальним.

При створенні маніпуляторів постає питання керування їх роботою. Тому цілком доцільним є формування алгоритмів керування мікроманіпуляторами, які стануть основою для подальшого програмування керуючих пристроїв.

В роботі проаналізовані існуючі види конструкцій п'єзодвигунів та типи п'єзоперетворювачів. Для маніпулятора було обрано п'єзодвигун обертального руху та п'єзодвигун лінійного переміщення. В якості привода обертального руху розглядається пакетний тип перетворювача. Для нього була сформована математична модель, на основі якої було проведено дослідження впливу параметрів п'єзоелектродвигуна на його статичні та динамічні характеристики. Дослідження проводилося із залученням обчислювальної техніки, зокрема пакета Simulink про-

рами MATLAB. Отримані результати були узагальнені та подані у вигляді графіків і рекомендацій, завдяки яким можна обирати параметри таким чином, щоб п'єзодвигун відповідав заданим показникам якості та відпрацьовував необхідну точність.

Висновки. Для маніпулятора був сформований алгоритм керування у вигляді блок-схеми, на основі якої в подальшому можна написати програму для керуючого пристрою. Даний алгоритм забезпечує рух захвата по потрібним точкам та повернення у початкове положення.

Список використаних джерел

- 1 Бобцов А.А., Бойков В.И., Быстров С.В., Григорьев В.В. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений. Учебное пособие. – СПб ГУ ИТМО, 2011. – 131 с
2. Афонин С.М. Многомерная структурно-параметрическая модель составного пьезодвигателя наноперемещений / Вестник машиностроения, 2007. - №1. – с. 3-13.

УДК 621.314

Бондаренко О. Ю., Матюшин М. С., Сероветник В. І. магістранти гр.6371м

Керівник к.т.н., доцент Васильєв О. Г.

Національний Університет Кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

Аналіз світового досвіду створення нового та модернізації діючого технологічного обладнання показує високу динаміку розвитку регульованих електроприводів, комп'ютерних засобів автоматизації, використання інформаційних засобів. Вона зумовлена прагненням до максимального збільшення продуктивності технологічного обладнання та якості виробленої продукції. Всі провідні електротехнічні корпорації випускають регульовані електроприводи комплектно з комп'ютерними засобами автоматизації у вигляді гнучко програмованих систем, призначених для широкого використання [1].

Можна виділити наступні загальні тенденції розвитку електроприводів:

- постійно розширюється застосування регульованих електроприводів у промисловому обладнанні, транспорті, авіаційній і космічній техніці, медицині, побутовій техніці для досягнення нових якісних результатів в технології;
- заміна нерегульованих електроприводів регульованими в енергозберігаючому обладнанні (насоси, компресори, вентилятори та ін.) з метою енергозбереження;
- поширення блочно-модульних принципів побудови електроприводів, інформаційних засобів, засобів керування і систем керування в цілому.

З урахуванням зазначених вище тенденцій розвитку автоматизованих електроприводів провідні електротехнічні компанії світу здійснюють розробку і продаж перспективних для ринку серій електроприводів з широкими функціональними та структурними можливостями, різними варіантами їх технічної реалізації за умовами застосування для найрізноманітніших машин і механізмів.

Сучасні промислові механізми обладнані електроприводами, які забезпечують високі динамічні характеристики, плавність ходу і глибокий діапазон регулювання швидкості й крутного моменту.

Використання в електроприводах підпорядкованого регулювання з негативними зворотними зв'язками по швидкості і струму і змінними коефіцієнтами налагодження регуляторів дозволяє забезпечити високу точність підтримування заданих швидкості і моменту, швидке реагування на зовнішні впливи при необхідній якості перехідного процесу.

Об'єктом модернізації є система керування електропривода насосного агрегата подачі аварійної живильної води до парогенераторів АЕС.

Необхідність регулювання продуктивності насосних агрегатів в системах водопостачання визначається, перш за все, змінним графіком водоспоживання протягом доби.

Щоб насосна установка працювала без перевищення напору при будь-якому водоспоживанні, необхідно оснастити її відповідною системою автоматизованого керування, що має в своєму складі регульований електропривод. Це завдання вирішується системою автоматичного керування насосної установки, стабілізуючою напір в мережі по заданому значенню. Така система складається з насосного агрегату, укомплектованого регульованим електроприводом, датчика тиску, регулятора тиску, задавального пристрою і каналів зв'язку між перетворювачем і регулятором.

В роботі розглянутий насосний агрегат ПЕА150-85 [2]. Насос ПЗА 150-85 - відцентровий, горизонтальний, однокорпусний, секційний, семиступінчастий, з гідравлічною п'ятою, підшипниками ковзання з кільцевим змащен-

ням і кінцевими ущільненнями вала насоса чепцевого типу, привод якого здійснюється від трьохфазного короткозамкнутого асинхронного електродвигуна типу 2А3М 800/6000УХЛ4 потужністю 800 кВт.

Для електропривода насосного агрегату використаний перетворювач типу ЭКТ2Д-63/380-50-А [3].

Для вдосконалення динаміки системи керування складена структурна схема (рисунк 1), проведені розрахунки всіх її елементів та побудована її розрахункова динамічна модель.

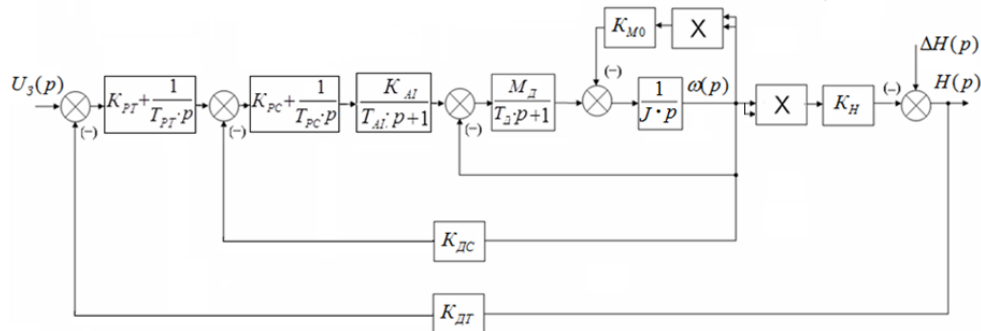


Рис. 1. Структурна схема електропривода

У результаті моделювання були отримані перехідні характеристики автоматизованого електропривода, які представлені на рисунках 2, 3, 4.

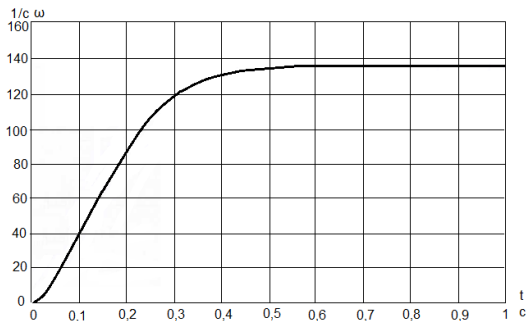


Рис. 2. Перехідна характеристика кутової швидкості електродвигуна

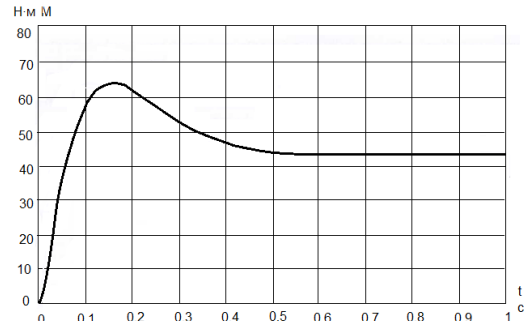


Рис. 3. Перехідна характеристика моменту електродвигуна

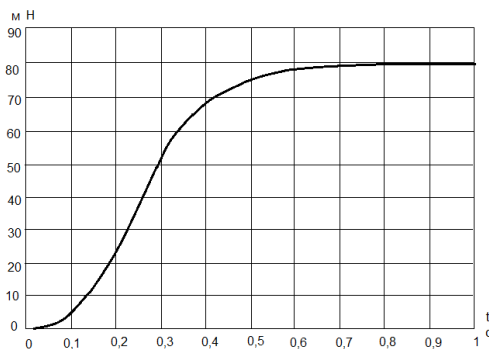


Рис. 4. Перехідна характеристика напору

Основні показники якості перехідного процесу по кутовій швидкості мають такі значення: час перехідного процесу $T_{\max} = 0,45$ с, перерегулювання $\sigma_{\max} = 0$ %, усталена похибка $\epsilon = 0$, що забезпечує плавність ходу електропривода, та його безаварійну роботу

Основні показники якості перехідного процесу по напору мають такі значення: час перехідного процесу $T_{\max} = 0,6$ с, перерегулювання $\sigma_{\max} = 0$ %, усталена похибка $\epsilon = 0$, що забезпечує плавність зміни напору при ступінчастому впливі.

Висновки. Отримані результати дослідження показали, що спроектована система керування асинхронного двигуна від перетворювача частоти ЕКТ2Д працює оптимально і двигун стартує плавно. Плавність пуску та регулювання швидкості ротора забезпечує безударне наростання напору.

Список використаних джерел

1. Белов М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. Учебник для студ. высш. учеб. заведений / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. - М.: Издательский центр "Академия" 2007. 576 с. 3-е издание.
2. Насосы питательные энергетических блоков АЭС. Общие технические условия. ГОСТ 24464-80.
3. Электропривод ЭКТ2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ИАВК.655427.001 ТО.

УДК 621-752.031

Кудряхін В. В., студент гр.6371м

Науковий керівник: канд. техн. наук, професор Гуров А. П.

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕЗОНАНСНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПРИВОДА ВІБРАЦІЙНОГО КОНВЕЄРА

У сучасній промисловості для забезпечення багатьох технологічних процесів, таких як ущільнення сумішей, транспортування сипучих речовин, сепарація і багатьох інших, застосовуються вібраційні установки [1]. Найбільш поширені вібротехнологічні установки з електромагнітним і дебалансним приводом. Для забезпечення необхідної амплітуди коливань при мінімальних енерговитратах вібраційні установки повинні працювати в резонансному режимі [2, 3]. При цьому, з метою забезпечення достатньої віброізоляції, віброустановки доцільно використовувати в комплексі з керованими (автопараметричними) віброзахисними системами [2].

Оскільки резонансна частота робочого органа установки може змінюватися в залежності від технологічного навантаження, для підтримки резонансного режиму роботи необхідно змінювати частоту змущених коливань, тому електропривод повинний бути керованим.

Підвищити ефективність віброконвеєрів при переміщенні сипких матеріалів можливо і за рахунок зміни нахилу кута осі вібрації відносно площини робочого лотка, що дозволяє збільшити транспортування.

Розробка систем автоматичного керування резонансними вібраційними електроприводами на сьогоднішній день є актуальною задачею.

В ході проектування був розроблений електромагнітний привод вібраційного конвеєра. Результати виконаної роботи дозволяють зробити наступні висновки.

Аналіз динаміки трьохмасової коливальної системи віброконвеєра у резонансному режимі показав, що для підтримки вібрації з заданою амплітудою на максимальній робочій частоті необхідна сила з амплітудою 3000 Н і потужність 560 Вт.

За допомогою відомих методів розрахунку магнітних кіл було визначено геометричні розміри елементів магнітної системи та магніторушійну силу, необхідну для створення магнітного поля. При цьому враховувались магнітний опір сталі та потоки розсіювання. Для визначення магнітної провідності повітряного зазору і питомої магнітної провідності розсіювання було використано метод найімовірніших шляхів замикання потоку.

Сформована функціональна схема системи автоматичного керування частотою коливань резонансної вібраційної установки з електромагнітним приводом.

Висновки. Аналіз впливу кута нахилу віброзбуджувача для різних по масі транспортуємих матеріалів дозволяє підвищувати швидкість транспортування на 10-15%.

В результаті аналізу вхідних сигналів розроблений алгоритм програми керування електромагнітним віброзбуджувачем.

Список використаних джерел

1. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины. Под ред. Э.Э. Лавендела. 1981. – 509 с.
2. Гуров А.П., Черно А.А. Резонансні вібраційні машини із системою керованого віброзахисту // Вібрації в техніці та технологіях. - 2007. - №1(46). - С. 43 - 44.
3. Чубик Р.В. Адаптивна система керування режимами резонансних вібраційних технологічних машин: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.07 / НУ "Львівська політехніка". - Л., 2007. - 20 с.

СЕКЦІЯ 3. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ КОМПЛЕКСИ, ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ І АПАРАТИ

УДК 621.314

Павлович В. С., Колесниченко Ю. В., Попов Д. В.

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И СТРУКТУРЫ ЦЕЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИСТЕМ ТРЕХФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Возможности дальнейшего развития электромеханических устройств в рамках традиционных конструкций электромагнитных систем (ЭМС) являются ограниченными. В соответствии с [1], необходимы новые подходы к усовершенствованию трансформаторов на основе новых нетрадиционных технических решений элементов активной части. Одним из направлений указанного усовершенствования, касательно трехфазных трансформаторов (ТТ), является использование симметричной пространственной ЭМС. При этом возникает необходимость разработки методики системного сравнительного анализа ЭМС ТТ, которая удовлетворяла бы условию универсальности. Указанное условие заключается в общей закономерности результатов обобщенного сопоставления для каждого из рассматриваемых вариантов конструктивных исполнений, технологий и диапазонов мощностей, а также значений параметров электроэнергии. Основу методики должны составлять критерии количественной оценки возможных технико-экономических показателей ТТ. Указанная количественная оценка дополняется анализом признаков технического уровня и совершенства конструкции и технологии производства магнитопроводов, что в совокупности представляет исходную основу выбора технических решений и проектного синтеза ТТ и других индукционных статических преобразователей (ИСП) с пространственными ЭМС.

В соответствии с постановкой задачи сравнительного анализа конструктивных схем активной части (АЧ) необходимо определить вид целевых функций (ЦФ) и управляемых переменных (УП) структурной оптимизации ЭМС ТТ. На основе выполненного анализа литературы представляется, что возможность сопоставления пространственных ЭМС может быть обеспечена на основе решения задачи поиска и идентификации двух групп показателей и признаков (основных и вспомогательных). Первая группа должна состоять из показателей технического уровня (ПТУ) в виде количественных величин, отображающих и определяющих технические характеристики на основе стереометрических и планиметрических особенностей пространственных ЭМС. Второй группе должны соответствовать характерные особенности и признаки технического уровня, определяющие трудоемкость изготовления, ток холостого хода, добавочные потери, а также функциональные возможности пространственных ЭМС [1].

Сравнительный анализ ПТУ можно выполнить на основе известного из теории исследования операций метода экспертной оценки, согласно которому, величины первой группы можно представить в виде комплексного ПТУ, интерпретация которого применительно к пространственным ЭМС предложена в [2]

$$Q_k = \sum_{i=1}^{i=n} q_{ki} m_{ki},$$

где q_{ki} – относительный ПТУ, определяемый отношением однотипных i -х параметров из номенклатуры n основных показателей функциональной и технической эффективности новой разработки и условно базового аналога сравниваемых ИСП; m_{ki} – коэффициент весомости i -го параметра, установленный экспертным методом.

В соответствии с [2], основными для ТТ и ИСП в целом являются показатели удельной материалоемкости и стоимости АЧ, КПД, объема и габаритных размеров, а также уровня отходов электротехнической стали при производстве магнитопроводов. В связи с этим первый, второй и третий относительные показатели (q_{k1} , q_{k2} , q_{k3}) представляется целесообразным определять на основе ЦФ и частных критериев оптимизации ИСП (соответственно минимумов массы, стоимости и основных потерь АЧ). Для определения $q_{k(i=1...3)}$ необходимо определить наличие и значения экстремумов указанных ЦФ.

Выводы. В соответствии с условием универсальности составляющие ЦФ пространственных ЭМС, обеспечивающие возможность их сравнительного анализа, не должны содержать исходных данных и явно выраженных (в числовых значениях) электромагнитных нагрузок. Сопоставительный анализ вариантов пространственных ЭМС может быть выполнен на основе нескольких количественных относительных ПТУ ИСП и сформулированных по меньшей мере трех признаков совершенства конструкции и технологии производства магнитопроводов.

Список использованных источников

1. Ставинский, А.А. Проблема и направления дальнейшей эволюции устройств электромеханики [Текст] / А.А. Ставинский // Электротехника і електромеханіка. – 2004. – №1. – с. 57-61.
2. Ставинский, Р.А. Нетрадиционные технические решения, постановка задачи и метод структурной оптимизации индукционных статических устройств [Текст] / Р.А. Ставинский // Вісник КДУ. – Кременчук: КДУ, 2010. – вип. 4, ч. 2 – с. 91-94.

УДК 621.313.5

Охотський В. О.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

МАГНІТОГІДРОДИНАМІЧНИЙ РУШІЙ

Магнітогідродинамічний (МГД) двигун - електричний двигун, в якому робоче тіло знаходиться у електропровідному стані (наприклад, у стані плазми) і розганяється за допомогою впливу на нього електромагнітного поля. Такий перетворювач є зворотним МГД-генератору: перетворює електромагнітну енергію в механічну і теплову енергію руху провідної речовини (рідина або плазми).

Принцип дії МГД-рушіїв морських суден заснований на взаємодії струмів, що протікають в морській воді, з зовнішнім магнітним полем і виникненні внаслідок цього електромагнітної сили. Ця сила збільшує тиск і швидкісний напір потоку на виході перетворювача. МГД-рушії мають ряд переваг в порівнянні з традиційними системами силового приводу судів: безшумність, маневреність і швидкий реверс, можливість досягнення високих швидкостей суден, відсутність обертових високонапружених частин, зняття проблеми ущільнення валів приводних гвинтів і ін.

МГД-установки об'єднують функції гребного електродвигуна і гребного гвинта. При цьому в якості джерела струму може бути використаний МГД-генератор, який здійснює пряме перетворення теплової енергії в електричну, тобто виключаючи багаступінчастий шлях, який використовується в даний час на судах-електроходах.

Створення установки з постійними магнітами дає можливість досягти значень ККД МГД-рушія лише не більше кількох відсотків. Якщо використовувати електромагніти з обмотками із звичайних матеріалів, таких як мідь, алюміній і зі сталевим сердечником, то величина магнітної індукції B обмежується умовами насичення сердечника і становить лише близько 2 Тл. При такій індукції навіть для ККД $3 \div 5\%$ маса електромагніту виходить надмірно великою, приблизно декількох сотень тонн. Для отримання ж ККД 30% і вище потрібно, як показують розрахунки, магнітні поля з індукцією $B \geq 10$ Тл.

Таким чином, для отримання прийнятних масогабаритних характеристик МГД-рушіїв необхідні ефективні магнітні системи, здатні створювати сильні магнітні поля у великих обсягах. При цьому надзвичайно важливо, щоб такі системи споживали мінімум електроенергії на власні потреби, тобто володіли мінімальною енергоємністю.

Хорошу ілюстрацію ступеня ефективності роботи МГД-рушія дають наведені на рис. 1 криві залежності його ККД від швидкості ходу при різних значеннях індукції магнітного поля. Графіки побудовані для підводного судна за даними американського дослідника Дороха, в своїх розрахунках Дорох брав водотоннажність судна $\Delta = 2000$ т, довжину МГД-каналу $L = 15$ м і площа його поперечного перерізу $S = 7$ м².

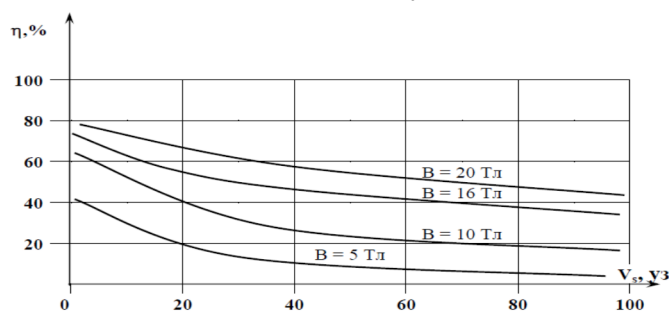


Рис. 1.

Побудовані криві говорять про те, що в міру зростання швидкості ходу ККД зменшується, і до того ж тим інтенсивніше, чим менше індукція магнітного поля.

При швидкості ходу 20 - 30 вузлів для отримання ККД близько 30% достатньо мати поля з індукцією $B = 8 \text{ Тл}$. Поля з $B = 10\text{-}20 \text{ Тл}$ дозволяють отримати ККД в інтервалі 40-75%. При швидкостях ходу 50-70 вузлів для отримання ККД понад 30% необхідні поля з індукцією $B \geq 10 \text{ Тл}$.

Настільки сильні магнітні поля можуть бути отримані тільки за допомогою надпровідних магнітних систем. Таким чином, використання систем з високою індукцією магнітного поля дозволяє зробити МГД-рушій реальним і перспективним судновим рушієм.

В даний час відомі кілька варіантів конструктивного виконання МГД-рушіїв. Всі вони за способом передачі енергії від джерела струму до прискорюючого робочого тіла – морської води можуть бути:

- кондукційними, в схемах яких електроенергія підводиться до електродів, тобто безпосередньо до води;
- індукційними, в схемах яких реалізується безелектродне перетворення змінного струму в механічну енергію руху судна.

Кондукційні схеми постійного струму створюють значні труднощі в забезпеченні корозійної стійкості, як самих каналів, так і прилеглих суднових конструкцій. Ці труднощі відсутні в схемі індукційного типу, які дозволяють здійснити безелектродне перетворення електроенергії змінного струму в механічну енергію руху судна.

За дією об'ємної електромагнітної сили на воду МГД-рушії можуть бути двох типів:

- канальними з внутрішнім магнітним полем;
- безканальними із зовнішнім (відкритим) магнітним полем.

Перевага канальної системи полягає в тому, що до мінімуму знижуються магнітні та електричні поля розсіювання, оскільки електромагнітні сили створюються і діють на воду в обмеженому обсязі води. Недоліком є те, що для збільшення потужності каналного МГД-рушія при незмінній щільності струму потрібне збільшення розмірів каналу, що, різко знижує корисний об'єм судна.

МГД-установки із зовнішнім магнітним полем найбільш доцільно використовувати для руху великих підводних танкерів. Такий рушій також досить зручний для використання на криголамах, так як при цьому корпус судна не матиме виступаючих частин у вигляді гребних гвинтів і кронштейнів гребних валів. При такій пропульсивній установці можливий локалізований нагрів забортної води, а також витяг з неї газів для системи обдування корпусу при ході в льодах і внутрішньосуднових потреб. Основні проблеми, що підлягають вирішенню при реалізації цього типу МГД-рушія, полягають, по-перше, в розробці способів кріплення надпровідних обмоток, що компенсують досить значні електродинамічні зусилля. Такі бандажні пристрої при цьому не повинні створювати надмірних теплових припливів. По-друге, повинна бути вирішена проблема, пов'язана з наявністю всередині судна магнітного поля, що обумовлює притягання сталевих тіл, що знаходяться поблизу обшивки корпусу, як всередині судна, так і за його межами, а також захист людей від впливу полів.

Китайська корпорація CSIC в середині жовтня 2017 року провела перші успішні випробування прототипу магнітогідродинамічного двигуна, «тихого» рушія без рухомих частин для перспективних підводних човнів. Випробування двигуна були визнані успішними. На даний час всі спроби створення МГД-рушіїв були виконані для підводних човнів або великогабаритних суден та для швидкостей до 80 вузлів.

Крім цього можливий варіант застосування МГД-рушіїв для невеликих підводних апаратів та швидкостями до 4 вузлів. Найпростіша конструкція МГД-двигуна представляє собою канал, по якому рухається рідина, і розташовані по його сторонам електромагніти. Під час роботи на електромагніти подається напруга, виникає магнітне поле, яке провокує появу в рідкому середовищі рушійної сили. У випадку з морським МГД-двигуном електролітичною рідиною виступає морська вода. Для створення магнітного поля досить застосувати сильний постійний магніт від гучномовця. Вивести від нього магнітний потік можна за допомогою полюсних наконечників з магнітної сталі, зануреної в солоне водне середовище, що знаходиться в проміжку між струмопровідними електродами. Для живлення МГД-рушія можна використовувати акумуляторні батареї.

Висновки. Розглянуто можливість використання МГД-рушіїв замість гребних гвинтів. Комерційному впровадженню МГД-рушіїв заважає те, що поки що досягнута ефективність в рази програє гребному гвинту. Основні причини низької ефективності - погана провідність морської води і відносна дороговизна створення сильно-го магнітного поля. МГД-рушій перспективно більш надійний пристрій, ніж гребний гвинт. Особливо актуальним в МГД-рушії є відсутність рухомих механічних частин. Також запропоновано створення простого МГД-рушія для малих підводних апаратів зі швидкостями до 4 вузлів.

Список використаних джерел

1. Ватажин А.Б., Любимов Г.А., Регирер С.А. Магнитогидродинамические течения в каналах. М., Физматгиз. 1970. – 138 с.
2. DorachМНД - ship propulsion using superconductind magnets. - Re-port. SNAME Transactions, 2010, May . 14-15.

3. Вольдек А.И. Индукционные магнито-гидродинамические машины с жидкометаллическим рабочим телом. –Л.:Энергия,1999 с.

УДК 621.311.11

Солодчук В. В., група 5365м, магістрант

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ЕЛЕКТРИЧНИЙ РЕАКТОР З ПІДМАГНІЧУВАННЯМ

На сьогоднішній день електричні реактори є невід'ємною складовою будь-якої електроенергетичної системи. Електричний реактор – це високовольтний електричний апарат, призначений для обмеження струму короткого замикання (КЗ) і підтримання достатньої напруги на шинах розподільного пристрою при КЗ в мережі. В цьому випадку він являє собою котушку індуктивності, на якій відбувається основне падіння напруги при КЗ. Електричний реактор використовують також: для обмеження пускових струмів синхронних електродвигунів; як споживача реактивної потужності для підвищення пропускної здатності ліній електропередачі; в якості індуктивного елементу в частотних фільтрах. В багатьох випадках використання реактора становиться більш економічно доцільним при регульованому значенні його індуктивності.

Частіше за все використовують реактори із подовжнім підмагнічуванням стрижня. Відомий електричний реактор з підмагнічуванням, що містить магнітну систему з двома ярмами, з двома бічними стержнями і середніми стержнями, на яких розміщені обмотки управління. Мережева обмотка кожної фази охоплює два середніх стержня з обмотками з управління, включеними зустрічно. Недоліком відомого пристрою є знижена надійність через складність електричної схеми системи регулювання, так як для забезпечення автономності роботи реактора обмотки управління використовуються не тільки для підмагнічування сталі середніх стрижнів, але і для живлення перетворювача системи управління[1].

Підвищення надійності керованого підмагнічування реактора, його стійкості при короткому замиканні за рахунок зниження струму короткого замикання і зниження струму спотворення вищими гармоніками можливе за рахунок введення компенсаційних обмоток, встановлених на середніх стержнях. В такому електричному реакторі, що містить верхнє, нижнє і два бокових ярма, середні стрижні, на яких розміщені обмотки управління, приєднані до регульованого джерела постійного струму, мережеву обмотку кожної фази, що охоплює два сусідніх середніх стержня з обмотками управління, включеними зустрічно, і компенсаційну обмотку, компенсаційна обмотка кожної фази виконана з двох частин, кожна її частина розміщена на кожному середньому стрижні, причому дві сусідні частини компенсаційної обмотки, мережева обмотка кожної фази, включені згідно [1,2].

Розглянутий електричний реактор з підмагнічуванням пояснюється кресленнями, представленими на рис. 1.

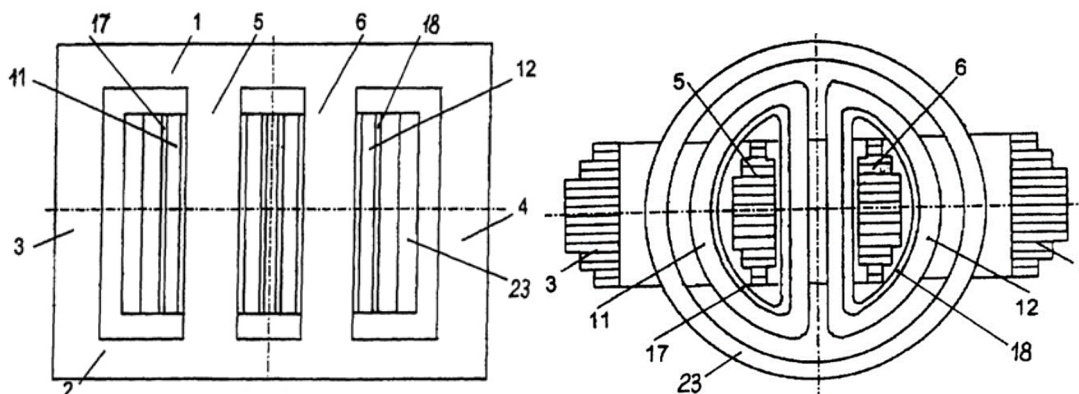


Рис. 1. Конструкція магнітної системи однієї фази реактора із подовжнім підмагнічуванням осердя обмоток

Магнітна система реактора містить два горизонтальних ярма - верхнє 1 і нижнє 2, два бічних вертикальних ярма 3 і 4 і середні стрижні 5-10. На кожному середньому стрижні 5-10 розміщені обмотки управління 11-16 і частини компенсаційних обмоток 17-22. Мережеві обмотки 23-25 кожної фази охоплюють два сусідніх стержня з обмотками управління і частинами компенсаційних обмоток. Частини компенсаційних обмоток 17-22 можуть бути розміщені як поверх обмоток управління 11-16, так і всередині їх (між обмотками управління 11-16 і середніми стержнями 5-10).

Обмотки управління, за допомогою яких здійснюється управління (регулювання струму) реактора підмагнічуванням сталі магнітопроводу, підключаються до перетворювача або джерела постійного струму, при цьому мож-

ливі різні варіанти з'єднання обмоток управління. Наприклад, дві обмотки управління 11 і 12, які охоплюються мережевою обмоткою 23, можуть бути з'єднані послідовно зустрічно або паралельно зустрічно. Обмотки управління трьох фаз трифазного реактора можуть бути з'єднані паралельно або послідовно.

Кожні дві частини компенсаційних обмоток фази (17 і 18, 19 і 20, 21 і 22), що охоплюються мережевою обмоткою (23, 24 і 25), можуть бути з'єднані послідовно відповідно до або паралельно згідно. Компенсаційні обмотки трьох фаз з'єднані в трикутник. Частини компенсаційних обмоток 17-22 можуть бути розміщені всередині обмоток управління, як це показано на рис.1 (між обмотками управління і середніми стержнями), або поверх обмоток управління 11-16, наприклад, безпосередньо на них намотані, як на потужному каркасі.

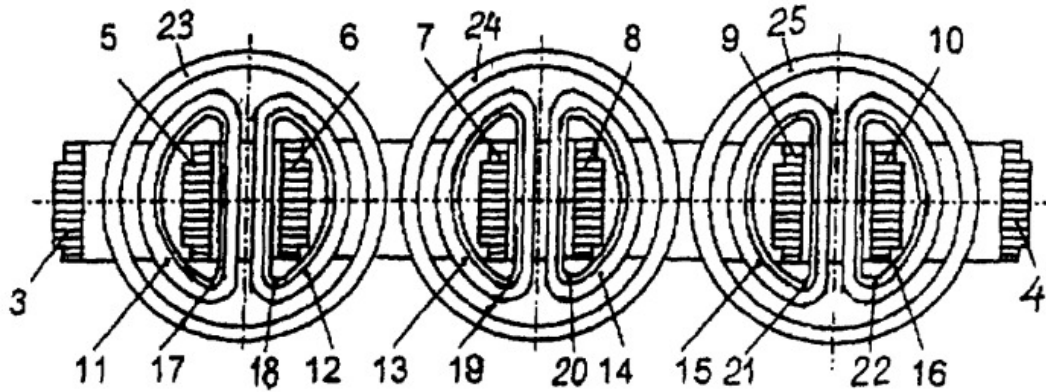


Рис. 2. Планарна конструкція магнітної системи трифазного реактора із подовжнім підмагнічуванням осердя обмоток

В трифазній мережі можуть застосовуватися також трифазні реактори (рис. 2) або трифазні групи реакторів. В трифазній групі однофазних реакторів мережеві обмотки 23, 24 і 25 можуть бути з'єднані в зірку з заземленням нейтралі (глухим або через реактор) або в трикутник. При цьому однофазний варіант конструкції, зберігає всі елементи конструкції трифазного реактора, але відповідно зменшується число стрижнів і обмоток. [1].

Недоліком такої конструкції є високі масогабаритні показники, велика споживана потужність та складність конструкції, що призводить до труднощів при монтажу та обслуговуванні. Для зменшення гармонік більш ефективним є поперечне підмагнічування, яке не викликає виникнення парних гармонік в магнітній системі та знімає необхідність в розщипленні системи на дві окремі частини. Крім того, підмагнічування ярма спрощує конструкцію та зменшує масогабаритні показники мережевої обмотки та стрижня, на якому вона знаходиться. Тому пропонується використовувати магнітну систему радіального типу з підмагнічуванням ярма, що запропонована на рис.3. Використання шихтованого магнітопроводу із однакових пластин сталі дозволяють значно спростити технологію виготовлення реактора із відсутністю відходів електротехнічної сталі [5].

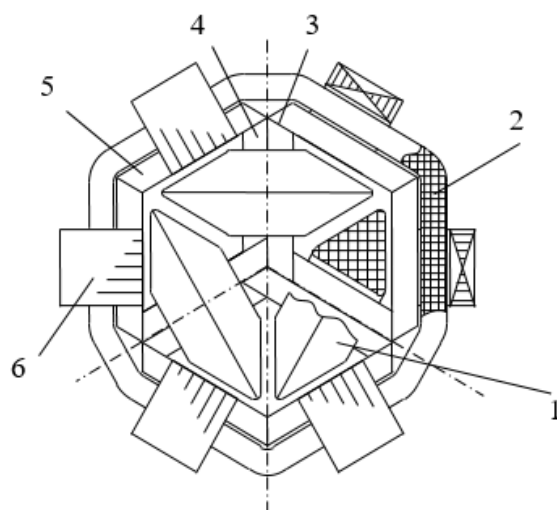


Рисунок 3. Конструкція реактора радіального типу із підмагнічуванням ярма.

Електромагнітна система на рис.3 містить силову трифазну обмотку 1, обмотку поперечного підмагнічування 2 постійним струмом та магнітопровід 3, що складається з трьох розташованих під кутами 120° стрижнів 4 і ярем 5, а також додаткових феромагнітних осердь 6, що встановлені між стрижнями 4. Осердя 6 виконані з виступами, які містять поверхні сполучення з ділянками поверхонь ярем 5, а обмотка підмагнічування 2 встановлена між виступами осердь 6. В подальшому для обґрунтування ефективності використання в енергосистемі передбачається розрахунок електромагнітних характеристик такої системи та визначення цільової функції мінімізації масових показників конструкції реактора, представленого на рис.3

Висновки. Розглянуто електричний реактор та можливість регулювання його індуктивністю за рахунок підмагнічування магнітопроводу. Подовжні системи підмагнічування громіздкі, мають високі масогабаритні показники та складні за конструкцією. Запропоновано використовувати радіальну конструкцію із шихтованим магнітопроводом та поперечним підмагнічуванням ярма, якій відповідає менші масогабаритні показники, більш проста конструкція та менші спотворення мережевого струму.

Список використаних джерел

1. Управляемые подмагничиванием электрические реакторы. Сб. статей. / Под ред. доктора техн. наук. проф. А.М.Брянцева. - М.: «Знак». 2004. 264 с..
2. Электромагнитное устройство. Авторское свидетельство СССР №1164795. Н 01 F 29/14. Бюлентень изобретений №24, 1985 г.
3. Захаров А.И. «Управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы»:–Г.:Энергия,1999 с.
4. Применение управляемых подмагничиванием шунтирующих реакторов в электрических сетях. Л.Н.Контарович, Н.В.Марченко., CIGRE WG A2.48 Shunt reactors., Paris., 2014.
5. Патент України на корисну модель № 120831. Електромагнітна система з регулюванням підмагнічування магнітопроводу./ Ставинський А.А., Новогорецький С.М., Прудников А.О. – заяв. 04.04.2017; опубл. 27.11.2017; Бюл. №22. – 5с.

УДК

*Ковальов Д. О., Руденко О. С., Слабодчиков А. А., Супрун В. В., магістранти,
Науковий керівник к.т.н. Авдєєва О. А.
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЕНЕРГОРЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

Важливими елементами різноманітних електротехнічних систем і комплексів є індукційні статичні пристрої. Збереження енергетичних і матеріальних ресурсів при виробництві і експлуатації вказаних пристроїв є важливим і актуальним питанням сьогодення [1]. До подібних пристроїв відносяться трифазні трансформатори, які відіграють важливу роль в системах електропостачання споживачів усіх категорій.

В сучасних умовах подорожчання електроенергії підвищення коефіцієнту корисної дії (ККД), зниження вартості та зменшення габаритних розмірів трансформатора є актуальною задачею [2]. Однак еволюційність вектору розвитку конструкції силового трансформатора економічно визначається протистоянням двох тенденцій:

- потреба ринку до здешевлення трансформатора в цілому як товару;
- необхідність використання більш дорогих технологій для виготовлення трансформатора як товару з покращеними властивостями.

Сформовані законом попиту споживачів та пропозицій виробників ринкові ціни на нові силові трансформатори жорстко втримують власників трансформаторних заводів від революційного розвитку конструкцій трансформаторів, так як це призведе до їх різкого подорожчання. Тому прогрес вдосконалення трансформаторів в теперішній час відбувається в рамках традиційних конструкцій в значній мірі на основі створення нових і удосконаленням використовуваних ізоляційних, магнітних та провідникових матеріалів [2].

Стосовно створення нових обмоткових провідникових матеріалів, що використовуються при виготовленні силових трансформаторів, можна виділити високотемпературні надпровідники (ВТНП). Першими використовувати ефект надпровідності при виготовленні силових трансформаторів почали європейські концерни *ABB* та *Alstom*, а також *K.E.P.C.* (Японія) та *Westinghouse* (США). Їх розробки були направлені на використання низькотемпературних надпровідників. Однак бар'єром на шляху розвитку і використання таких трансформаторів стали величезні за розміром криогенні системи для отримання рідкого гелію, які робили використання подібних трансформаторів економічно недоцільним. ВТНП матеріали були відкриті в 1986 році та дозволили відмовитись від громіздких охолоджуючих пристроїв. ВТНП матеріал має дві основні особливості: знехтувано малі втрати при відносно великій щільності струму та «перемикаючий» режим – перехід від практично нульового значення опору до високого опору

ру. У зв'язку з цим використання ВТНП стало перспективним в конструкції обмоток силового трансформатора з метою зменшення втрат активної потужності короткого замикання. Промислово розвинені країни достатньо активно проводять роботи по створенню ВТНП трансформаторів. Більшість з розроблених проектів трансформаторів оснований на використанні в якості ВТНП багатожильного транспонованого кабелю за срібною або срібно-магнієвої основою. В якості базового ВТНП проводу для обмотки використовується високопробна 55-жильна стрічка В/223 з AgMg матрицею.

Експерти виділяють наступні переваги ВТНП трансформаторів [3, 4]:

- зниження навантажувальних втрат при номінальному струмі на 80-90 %, що значно підвищує ККД трансформатора;
- зменшення маси і габаритів трансформатора до 40 % у порівнянні зі звичайними силовими трансформаторами. Вказана перевага дозволяє використовувати ВТНП трансформатори у вже існуючих підстанціях без їх конструкційних змін зі значним підвищенням потужності;
- здатність обмежувати струми короткого замикання, що в аварійних режимах захищає електрообладнання мережі та підвищує динамічну стійкість.
- покращення статичної стійкості, яке пов'язано зі зменшенням індуктивного опору. В обмотках ВТНП трансформаторів використовується набагато менший об'єм проводу в зв'язку з високою щільністю струму. Ця обставина призводить до зменшення індуктивного опору та, тим самим, оказує вплив на стійкість електроенергетичної системи. Таким чином, ВТНП трансформатори суттєво впливають на електромеханічні перехідні процеси;
- більша перевантажувальна здатність без пошкодження та старіння ізоляції;
- менша небезпека для навколишнього середовища, тобто екологічність та пожежебезпека через заміну трансформаторної олії екологічно чистим та дешевим азотом.

Однак у ВТНП трансформаторів є і суттєві недоліки. Вони пов'язані з необхідністю захисту трансформатора від виходу його із надпровідникового стану. При ввімкненні трансформатора в мережу струм вмикання може досягати 20-кратного від номінального значення, що може призвести к зміні опору ВТНП проводу. Цього можна уникнути за допомогою спеціального пристрою шляхом попереднього намагнічування, що дозволяє ввімкнути трансформатор без перехідного струму. При навантаженні, що незначно перевищує номінальне, значно збільшуються втрати, а довготривала робота в такому режимі неекономічна. Крім того, після такого перевантаження впродовж 200 мс та більше, навіть після відключення потребується декілька хвилин, щоб ВТНП трансформатор повернувся у вихідний стан. Том, перш ніж казати про масове виготовлення ВТНП трансформаторів, необхідно розробити міри захисту від аварійних режимів і можливості забезпечення електроенергією під час простію ВТНП трансформатора. Також основним заперечувальним фактором використання високотемпературної надпровідності в трансформаторах є висока вартість ВТНП проводу. Вартість ВТНП трансформатора с криогенною установкою відносно звичайного трансформатора зростає приблизно на 25 %. Так як чимало виробників, особливо японських, вже заявили про закінчення розробок ВТНП трансформаторів, то їх перші надходження в продаж в серійних масштабах очікуються в найближчі декілька років. В теперішній час розроблені та випускаються промисловою новітні ВТНП трансформатори 2-го покоління, основними перевагами яких є можливість отримання значно більш високих магнітних полів, більш висока електродинамічна стійкість та більш легке підтримання робочої температури [3, 4].

Іншим інноваційним напрямком удосконалення обмоток трансформаторів є використання «кабельних» обмоток. Розвиток технології виготовлення високовольтного кабелю дозволив створювати кабель з ізоляцією з поперечно-зшивного поліетилену (XLPE), який допускає високу напруженість. XLPE – європейська назва зшитой ізоляції.

Компанія ABB першою використала XLPE кабель в області трансформаторних технологій та розробила новий тип трансформатора – *Dryformer* (кабельний трансформатор). Функції окремих частин кабельного трансформатора визначені більш чітко, ніж у звичайних трансформаторів. Обмотки трансформатора, який є по суті «сухим», виконуються з кабелю, який повністю забезпечує ізоляцію обмотки. На відміну від звичайних трансформаторів обмотка не потребує пресування з опорою на ярмо. Кабель має багатодротову мідну або алюмінієву струмопровідну жилу, поверх якої накладено тонкий шар напівпровідникового матеріалу. В теперішній час використовується кабель з робочою напруженістю біля 10 кВ/мм. Повітря служить тільки для охолодження та не виконує функції ізоляції, як в звичайних сухих трансформаторах. Головною функцією аксіальних реєк, що виготовлені з немагнітного провідникового матеріалу, є забезпечення механічної прочності обмоток, в тому числі при дії струмів короткого замикання. Основним призначенням таких реєк є створення каналів між шарами, що забезпечують охолодження та створення механічного каркасу обмотки та заземлення кабелю.

Виділяють наступні переваги кабельних трансформаторів:

- зменшення втрат короткого замикання, завдяки використанню в конструкції обмотки спеціального кабелю, в якому поверх струмопровідної жили накладено тонкий шар напівпровідникового матеріалу, що дозволяє усунути нерівномірність електричного поля, яке викликане багатодротовістю жили;

– пожежебезпека. В кабельному трансформаторі кількість горючих матеріалів набагато менша, ніж у звичайному трансформаторі. Крім того, горючість матеріалів, що використовують в кабельному трансформаторі, має меншу тенденцію к розвитку возгорання, ніж горючість матеріалів, які використовують в звичайних трансформаторах.

– екологічність. В кабельних трансформаторах відсутня трансформаторна олія та вся ізоляція складається з поліетилену. Це дозволяє виключити витік трансформаторної олії. Таким чином, кабельні трансформатори, завдяки своїй екологічності, є підходящими для встановлення в густонаселених містах, гідроелектростанціях, підземних спорудах та інше. Також з'являється можливість приблизити їх встановлення к місцям споживання електроенергії, в тому числі к побутовим споживачам;

– зниження загальних втрат в мережі, так як кабельний трансформатор можна встановити як завгодно близько до місця навантаження;

– XLPE кабель здатен витримати більші перехідні напруги. В результаті цього кабельний трансформатор має суттєві переваги як по амплітуді ударної хвилі, так і по вартості різних захисних мір;

– кращі показники надійності, завдяки простоті конструкції;

– відсутність відводів високої напруги, так як кабель, яким виконана обмотка, прокладається до розподільчого пристрою на будь-яку довжину.

Однак у кабельних трансформаторів є і суттєві недоліки. Відомо, що механічні властивості поліетиленового кабелю змінюються зі зміною температури та, особливо, при високому її значенні. Тому для кабельного трансформатора перевантаження обмежене не старінням ізоляції, а зниженням механічної міцності обмотки, ізольованої поліетиленом, при підвищенні температури. Основним фактором, що перешкоджає промислового використанню кабельних трансформаторів в наш час є їх висока вартість. Вартість кабельного трансформатора є приблизно вдвічі вища за вартість трансформатора традиційної конструкції [5].

Крім удосконалення обмоток, важливим та необхідним є удосконалення магнітопроводів з зниження втрат неробочого руху.

За даними американської компанії *Metglas* втрати за рік в силових трансформаторах розподільчих мереж, в яких використовується магнітопровід з електротехнічної сталі, складає біля 8 % їх закупівельної вартості. Особливу актуальність проблема зниження втрат неробочого руху набуває в зв'язку з реалізацією державної програми енергозбереження, у відповідність з якою провідним галузевим енергосистемам при закупівлі силових і розподільчих трансформаторів рекомендовано враховувати вартість втрат в обладнанні за весь строк його експлуатації, так як в цілому від втрат в магнітопроводах трансформаторів втрачається до 4 % виробленої в країні електроенергії.

На величину втрат неробочого руху в першу чергу впливає тип магнітопроводу. Можна виділити три основних типу магнітопроводів, які використовують при побудові сучасних трансформаторів: шихтовані, виті та порошкові.

В теперішній час найбільш масовим є силові трансформатори з шихтованими магнітопроводами. Однак все більш широке застосування при виготовленні трансформаторів і реакторів малої і середньої потужності знаходять виті магнітопроводи. Їх конструкції розвиваються найбільш стрімкими темпами. До умовно виті конструкції магнітопровода можна також віднести і технологію виробництва магнітопроводів *Unicore*, розроблену та запатентовану австралійською компанією *AEM Cores*. Магнітний потік не долає перешкоду у вигляді прямого стикового зазору, а оминає його, використовуючи сусідні стрічки сталі, які в свою чергу таких перешкод в цьому місці не мають.

Використанні порошкових магнітопроводів поки обмежено через їх високу вартість, малий асортимент та низьку магнітну індукцію – до 1 Тл.

В кінці XX сторіччя інженерами фірми *Hitachi Metals* вперше був розроблений так званий нанокристалічний сплав. Особливості цього металу полягли в основі створення нового типу трансформаторів на основі нанокристалічного сплаву, які отримали назву аморфні трансформатори. Такі трансформатори перестають бути експериментальними та переходять в категорію серійних продуктів. У зв'язку з малою товщиною аморфний матеріал найбільш придатний для виті конструкції магнітопровода, тобто для трансформаторів малої та середньої потужності [6, 7]. Трансформатори з осердям із аморфної сталі серійно випускалися в США, Канаді, Японії, Індії, Словачії. Всього у світі вже виготовлено приблизно 60–70 тисяч одиниць таких трансформаторів потужністю 25 – 100 кВ·А. Найбільших успіхів домоглася американська фірма *Allied Signal* та японська – *Hitachi*. Наприклад, в Росії з 2012 року випускає силові трансформатори з аморфним магнітопроводом фірма «Трансформер». Нещодавно був виготовлений та прийнятий в експлуатацію найбільший в Європі розподільчий трифазний трансформатор потужністю 1600 кВА з магнітопроводом із аморфної сталі. У зв'язку з переходом на виготовлення крупногабаритних магнітопроводів енергоефективних трансформаторів зі стрічки, яку отримують методом надшвидкого охолодження струмені готового аморфного сплаву, знадобилося створення принципово нової технології виготовлення таких магнітопроводів.

Основними перевагами використання аморфного (нанокристалічного) сплаву в конструкції магнітопроводу трансформаторів є скорочення втрат на гістерезис в середньому на 80 % у порівнянні з холоднокатаною текстурованою електротехнічною сталлю (ЕТС).

Недоліком осердь з аморфних матеріалів є їх більш висока вартість (приблизно на 15–20 %). Ще однією проблемою є ускладнення процесу виготовлення осердя по мірі збільшення його розмірів. Також суттєвим недоліком є те, що на відміну від традиційних конструкцій трансформаторів, у яких магнітопровід з ЕТС є несучою конструкцією, що підтримує всю активну частину, аморфний магнітопровід, виготовлений з аморфної стрічки, через низьку механічну міцність не допускає дії на нього надмірного вагового навантаження. Тому він кріпиться до обмоток, що розташовані на несучій базі, та потребує додаткових мір щодо підвищення міцності конструкції.

Довгий час впровадження аморфних сталей в трансформаторобудуванні стримувалося їх високою собівартістю. І хоча аморфні трансформатори мають більшу вартість, але за рахунок своєї економічності, в довготривалій перспективі є більш вигідним вкладенням. В теперішній час у світі проводяться дослідження по розробці стрічок з аморфних сплавів, які володіють покращеними магнітними властивостями та дешевизною [6, 7].

В останні роки питанням екології приділяють все більшу увагу. Трансформаторна олія – один з самих шкідливих забруднювачів у випадку її потрапляння в ґрунт. Однак, вона забезпечує гарні електроізоляційні властивості в трансформаторі. Вибухонебезпека трансформаторної олії – інша не менш важлива небезпека. Тому в останні часи в технічні вимоги все частіше включають трансформатори, що ізолювані за допомогою газу. Тому важливою проблемою є створення пожеже- та вибухобезпечних трансформаторів, які б не шкодили навколишньому середовищу [8].

Елегаз (електротехнічний газ або шестифториста сірка) був вперше отриманий та описаний французьким вченим Анрі Муассаном в ході робіт по вивченню властивостей фтору в кінці XIX сторіччя. Значна діелектрична міцність елегазу забезпечує високу ступінь ізоляції при мінімальних розмірах та відстанях, що дозволяє зменшувати масу і габарити електротехнічного обладнання, а гарна охолоджувана здатність елегазу зменшує нагрів струмопровідних частин. Вказані переваги роблять очевидним його використання в трансформаторах взамін трансформаторної олії. Такі трансформатори отримали назву елегазові трансформатори. Очевидною перевагою елегазових трансформаторів є їх екологічність та пожежебезпека. Тому подібне охолодження трансформаторів є, головним чином, придатним для субмарин, шахт та атомних електростанцій, а також там, де є ризик екологічної безпеки для навколишнього середовища. Окрім цих переваг, нова конструкція елегазових трансформаторів компактна та має меншу вагу, ніж традиційні силові трансформатори. Однак суттєво менша імпульсна міцність та теплопередавальна здатність елегазу змушує значно підвищити тиск всередині баку трансформатора, що робить використання подібних трансформаторів економічно не вигідною. Іншою, не менш вагомою проблемою є необхідність регулярної діагностики стану елегазового трансформатора. В теперішній час ведуться активні роботи по аналізу газів, як надійному засобу підтримання безпеки роботи трансформатора протягом тривалого часу [8].

Всі рідкі діелектрики, що використовують в трансформаторах, повинні задовольняти наступним вимогам: бути самозгасаючими, нетоксичними, біологійними, мати низький коефіцієнт об'ємного розширення при нагріві. Цим вимогам відповідають синтетичні кремній-органічні рідини, наприклад полідиметилсилікосани, які володіють достатньо низькою в'язкістю, властивостями самозгасання та гарними охолоджуваними властивостями. Їх використання в трансформаторах все становиться нормою [9].

Вимогам пожеже- та вибухобезпеки, а також екологічності відповідають сухі трансформатори. Можна виділити два типи сухих розподільчих трансформаторів: з литою ізоляцією та повітряно-бар'єрною ізоляцією (відкриті обмотки). Їх використання дозволяє економити електроенергію за рахунок зниження втрат в кабельних мережах низької напруги, можливість розміщувати знижувальні трансформаторні пункти максимально близько до споживачів низької напруги. Це відображає загальну тенденцію розподілу електроенергії в мережах на більш високому рівні напруги.

Використання сухих трансформаторів забезпечує зниження затрат на будівництво, оскільки:

- немає небезпеки витоку олії;
- габарити та маса сухих трансформаторів менша аналогічних за потужністю олійних;
- сухі трансформатори можна розташовувати значно ближче до споживачів, ніж олійні.

Загальною проблемою сухих трансформаторів є обмеження їх максимальної потужності, що обумовлено умовами охолодження.

Таким чином, виходячи із логіки технічного прогресу, потреб споживачів силових трансформаторів, аналізу ринка можна зробити висновок, що необхідні як сухі, так і масляні трансформатори, однак переваги сухим трансформаторам дають нові ізоляційні матеріали, сучасні принципи конструювання і технології виготовлення. Також має місце тенденція зміни співвідношення попиту на користь сухих трансформаторів [9].

Ще одним з можливих варіантів удосконалення силових трансформаторів є системний підхід на основі структурних перетворень і структурної оптимізації їх електромагнітних систем. Одним з найважливіших етапів оптимізаційних розрахунків є вибір методу вирішення поставленого завдання. На цьому етапі на основі побудованої

математичної моделі здійснюється вибір і застосування певної структури та конструкції електромагнітної системи з подальшою параметричною оптимізацією. Тут важливу роль відіграє автоматизація рішення задач [10].

Для виконання розрахунків структурно-параметричного синтезу трансформатора доцільно використовувати метод цільових функцій, що містять безрозмірні показники технічного рівня та відносні геометричні та електромагнітні керовані змінні. Цей метод є універсальним і може використовуватися для будь-якої з існуючих конструкцій електромагнітних систем і виконань (за типом охолодження і захисту від середовища) трансформаторів [10].

Висновки. 1. Прогрес вдосконалення конструкцій трансформаторів в сьогоденні в значній мірі визначається створенням нових і вдосконаленням використовуваних провідникових, магнітних та ізоляційних матеріалів. 2. Щодо створення нових провідникових матеріалів, що використовуються при виробництві силових трансформаторів, можна виділити високотемпературні надпровідники і, відповідно, створені з їх використанням ВТНП трансформатори. 3. Розвиток технології виготовлення високовольтного кабелю дозволило створити кабель з ізоляцією з поперечно-сшивного поліетилену і використати його в межах трансформаторних технологій при розробці нового кабельного трансформатора. 4. Щодо створення нових магнітних матеріалів особлива роль приділяється нанокристалічному сплаву, особливості якого полягли в основу створення нового типу аморфних трансформаторів. В теперішній час у світі ведуться роботи по виготовленню стрічок з аморфних сплавів, які володіють покращеними магнітними властивостями та дешевизною. 5. Спостерігається тенденція в зміні типу магнітопроводу і його шихтовці. Все більш широке застосування при виготовленні магнітопроводів трифазних трансформаторів малої і середньої потужності знаходять виті магнітопроводи. 6. Щодо вдосконалення використовуваних ізоляційних матеріалів можна відзначити використання елегазу в трансформаторах замість трансформаторної олії. Такі трансформатори називаються елегазовими та їх основною перевагою є екологічність та пожежебезпека. 7. Резервом вдосконалення будь-яких варіантів трансформаторів є їх евристичний структурний синтез та структурно-параметрична оптимізація їх електромагнітних систем.

Список використаних джерел

1. Иванов-Смоленский, А.В. Перспективы развития электромеханики в XXI веке / А.В. Иванов-Смоленский, И.П. Копылов, Е.М. Лопухина [и др.] // Электропанорама. – 2001. – №1. – с. 14-15.
2. Ставинский, А.А. Проблема и направления дальнейшей эволюции устройств электромеханики / А.А. Ставинский // Электротехника і електромеханіка. – 2004. – №1. – с. 57-61.
3. Hu D., Li Z., Hong Z., Jin Z. Development of a single-phase 330 kVA HTS transformer using GdBCO tapes // Physica C: Superconductivity and its Applications. 2017. № 539. P. 8-12.
4. Новиков М.С. Разработка, изготовление и исследование сильноточных токонесущих элементов из ВТСП лент 2-го поколения: дис. ... канд. техн. наук: 01.04.13. М., 2015. 186 с.
5. Gao Y., Wang S., Gao H. A new type of dry power transformer based on XLPE cable winding // ICEMS 2005: Proceedings of the Eighth International Conference on Electrical Machines and Systems. 2005. № 3. P. 1771-1774.
6. Liu T., Kong F., Xie L., Wang X., Liu C.-T. Fe(Co)SiBPCCu nanocrystalline alloys with high Bs above 1.83 T // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2017. № 441. P. 174-179.
7. Najafi A., Iskender I. Comparison of core loss and magnetic flux distribution in amorphous and silicon steel core transformers // Electrical Engineering. 2017. P. 1-7.
8. Ozgonenel O., Font A., Ilhan S. Electrostatic analysis of SF6 gas insulated distribution transformer // National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering, ELECO 2016. 2017. P. 359-362.
9. Yuen D.C.M., Choi V., Gao L.Z., Han J. The first 110 KV / 35 KV - 31.5 MVA cast resin transformer // Conference Record - IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society). 2004. № 2. P. 763-767.
10. Ставинский, А.А. Метод сравнительного анализа статических электромагнитных систем, отличающихся структурой и конфигурацией элементов / А.А. Ставинский, Р.А. Ставинский, Е.А. Авдеева // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2014. – №14(90). – с. 53-60.

УДК 621.3

Холодков В. О., магістрант

Науковий керівник к.т.н. Авдєєва О. А.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

УДОСКОНАЛЕННЯ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ НА ОСНОВІ ВБУДОВАНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

У нинішній час енергоресурсозбереження є найбільш актуальним питанням у всьому світі. Актуальність енергоресурсозбереження в промисловості обумовлена насамперед зростанням вартості як електроенергії так і електротехнічних матеріалів. Високе енергоспоживання насосних агрегатів, а також їх широке застосування як в про-

мисловості, так і в судновому обладнанні, підтверджує доцільність проведення аналізу можливості енергоресурсозбереження при використанні вказаних пристроїв.

Вирішення проблеми енергозбереження можливо здійснити різними способами. Наприклад, при застосуванні неекономічних засобів керування режимами роботи насосів в системах водопостачання та водовиведення витрачається близько 15 % споживаної електроенергії [1, 2]. Найбільш розповсюдженими в промисловості та на транспорті є відцентрові насоси. Найбільш економічним регулюванням режиму роботи подібних насосів є зміна частоти обертання робочого колеса [1]. Тому застосування сучасних способів та засобів керування процесом зміни частоти обертання приводного двигуна, дозволить збільшити одиничну потужність насосного агрегату і тим самим зменшити загальне число агрегатів насосних станцій.

Насос у сукупності з електроприводом та передавальним механізмом утворює насосний агрегат. Для приводу використовують переважно короткозамкнений асинхронний двигун (АД) потужністю до 350 кВт, напругою 220/380 В та вище [2]. Тому ще одним способом вирішення питання енергоресурсозбереження можна вважати удосконалення приводних АД насосних агрегатів. В сучасних насосних установках зміна частоти обертання насосів частіше за все здійснюється з використанням регульованого електроприводу. На рис. 1 показані основні види регульованого електроприводу, що використовуються в насосних установках. До них відносять: частотний електропривод (рис. 1, а), привод на базі асинхронно-вентильного каскаду (рис. 1, б), привод на базі вентильного електродвигуна (рис. 1, в) та привод з використанням електромагнітної муфти ковзання (рис. 1, г). Найбільше розповсюдження отримав частотно-регульований електропривод [3].

Сучасний частотно-регульований електропривод – це АД, поєднаний в систему з регульованим перетворювачем частоти та мікропроцесорним регулятором. Використання подібного електроприводу дозволить здійснювати плавний розгін та зупинку потужних насосних агрегатів, вилучення гідроударів в трубопроводах при застосуванні групового електроприводу. Дуже важливо, що частотно-регульований електропривод дозволяє плавно регулювати продуктивність насоса зміною вихідного напору насосної установки.

Останнім часом найбільше розповсюдження отримали частотно-регульовані електроприводи на *IGBT* модулях. Прикладом регульованого перетворювача частоти електроприводу потужної насосної установки є частотний перетворювач на *IGBT* модулях (біполярних транзисторах з ізолюваним затвором) [3].

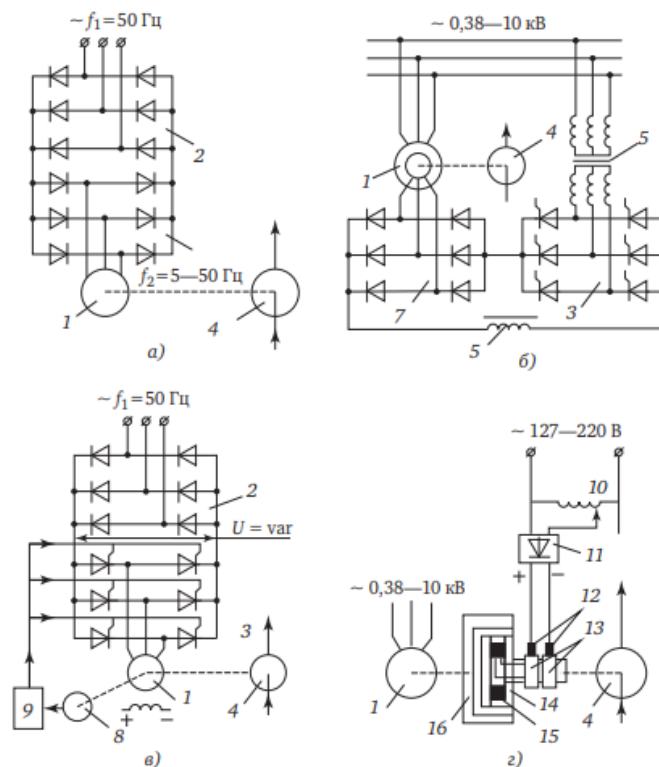


Рис. 1. Основні види регульованого електроприводу, що використовують в насосних установках: а – частотний; б – асинхронно-вентильний каскад; в – на базі вентильного електродвигуна; г – з електромагнітною муфтою ковзання (1 – асинхронний електродвигун; 2 – керований випрямляч частотного перетворювача; 3 – інвертор; 4 – відцентровий насос; 5 – погоджувальний трансформатор; 6 – згладжуючий дросель; 7 – некерований випрямляч; 8 – давач положення ротору в просторі; 9 – система імпульсно-фазового керування інвертора; 10 – керований

реостат; 11 – однофазний випрямний пристрій; 12 – щітки; 13 – контактні кільця; 14 – індуктор; 15 – обмотка збудження електромагнітної системи; 16 – якір електромагнітної системи).

Використання асинхронного частотно-регульованого електроприводу для керування насосними агрегатами забезпечить ряд переваг: економія електроенергії за рахунок оптимізації енергоспоживання електроприводу при зміні значення регульованого параметру; плавний пуск електродвигуна, відсутність механічних навантажень на двигун та кидків струму в мережу; ефективне використання споживаної насосним агрегатом потужності у всьому діапазоні регулювання.

Однак використання пристроїв частотного керування електроприводом насосних агрегатів спричиняє певне подорожчання системи в цілому. Тому використання таких приводів доцільне в тих випадках, коли це економічно виправдано, наприклад в потужних насосних агрегатах, або на великих насосних станціях.

Для можливості енергоресурсозбереження насосних агрегатів, в тому числі і суднового призначення, що містять двигуни потужністю до 200 ... 400 кВт, також доцільне використання другого способу енергоресурсозбереження. Цей підхід полягає у використанні спеціально розроблених енергоресурсозбарігаючих АД.

Загальний вигляд насосного агрегату, що містить відцентровий насос та приводний загальнопромисловий АД наведено на рис. 2. Подібні електронасоси мають значні габарити, масу та втрати, так як електродвигун розташований окремо від насоса та має власну систему охолодження, що підвищує втрати неробочого руху. Меншу масу і габарити мають відцентрові прямоточні електронасоси з вбудованими АД. Прикладом подібних насосів [2] є прямоточний безсальниковий електронасос, який наведено на рис. 3. Перевагою подібної конструкції є можливість охолодження електродвигуна робочою рідиною, яку перекачує насос.

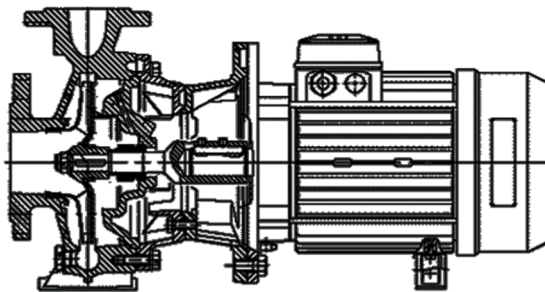


Рис. 2. Відцентровий електронасос з окремо розташованим приводним двигуном

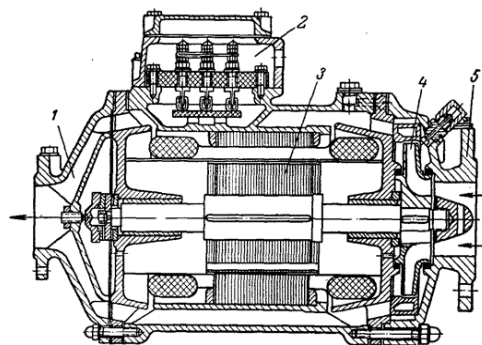


Рис. 3. Прямоточний безсальниковий насос:

1 – нагнітальний патрубок; 2 – коробка затискачів; 3 – електродвигун;
4 – турбіна насоса; 5 – всмоктувальний патрубок.

Відповідно до рис. 3 конструкція вбудованого в насос АД є традиційною. Замість вказаного технічного рішення можливо використати нетрадиційну конструкцію (рис. 4) з більш розвиненою площею поверхні охолодження [4, 5]. В подібній конструкції інтенсифікується охолодження, так як робоча рідина контактує безпосередньо з оребреною поверхнею магнітопровода зі штучною шорсткістю. Зменшується металоємність активної і конструктивної частини АД та насоса в цілому. Забезпечується зниження масовартісних показників та втрат активної потужності. Схема насоса з використанням спеціального АД наведено на рис. 5. Кардинально умовам енергоресурсозбере-

ження відповідає безкорпусний АД (рис. 4, а) зі статором (рис. 4, б) маловідходного розкросення шарів електротехнічної сталі (рис. 4, в), який надається багатоплощинна форма (рис. 4, г).

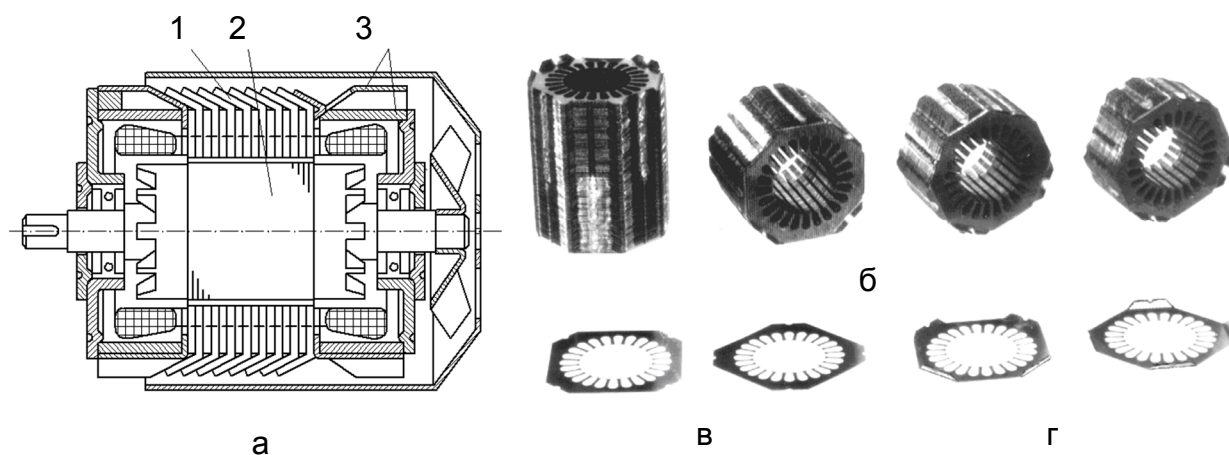


Рис. 4. Конструктивна схема закритого безкорпусного асинхронного двигуна (а) з магнітопроводом статора (б), плоскі заготовки (в) і елементарні шари (г) електротехнічної сталі просторової структури: 1 – статор; 2 – ротор; 3 – опорно-стяжний елемент.

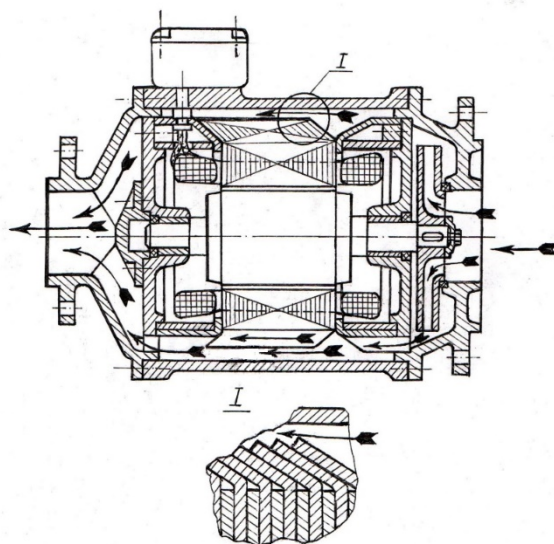


Рис. 5. Прямоточний безсальниковий насос з вбудованим асинхронним двигуном, що має багатоплощинне оребрення магнітопроводу статора

Висновок. Енергоресурсозбереження в насосних агрегатах з АД можливе використанням частотно-регульованого електропривода та використанням спеціально розроблених енергоресурсозберігаючих безкорпусних АД з магнітопроводом статора зі зниженою технологічною матеріалоємністю та збільшеною поверхнею охолодження. Вбудоване виконання з вказаним багатоплощинним магнітопроводом статора суттєво підвищує надійність, знижує рівень шуму та вібрацій, покращує охолодження та забезпечує енергоресурсозбереження у цілому.

Список використаних джерел

1. Закладной А.Н. Энергосбережение средствами промышленного электропривода / А.Н. Закладной, А.Б. Праховник, А.И. Соловей. – К.: «ДІА». – 2001. – 343 с.
2. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках и воздухоудувных установках. – М.: Энергоатомиздат. – 2006. – 360 с.
3. Лезнов Б.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. – М.: Машиностроение. – 2013. – 176 с.
4. Ставинский А.А. Универсальный метод структурно-параметрического синтеза электромагнитных систем. Ч.2. Результаты сравнительного анализа основных вариантов электромагнитной системы асинхронного коротко-

замкнутого двигателя / А.А. Ставинский, Е.А. Авдеева, О.О. Пальчиков, Р.А. Ставинский // Электричество. – 2017. – №5. – с. 18-26.

5. Ставинський А.А. Основні вимоги сучасного розвитку електричних машин і електротехнічних систем і комплексів на їх основі // А.А. Ставинський, О.А. Авдєєва, Л.В. Вахоніна // Сучасні проблеми автоматики та електро-техніки – 2018. Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції. – Миколаїв, НУК, 2018. – с. 33-39.

УДК 621.311.1

Молдован Д. О.

Науковий керівник Пальчиков О. О., к.т.н.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТНОЇ ПРОЦЕДУРИ ОБРАННЯ НЕОБХІДНОГО КАБЕЛЯ

Актуальність автоматизації проектування електропостачання пов'язана з впровадженням нових технологічних ліній та постійною модернізацією уже існуючих. Проектування електропостачання виробничого підприємства складається з наступних проектних процедур: оптимізація розташування кабелів, обрання необхідної кількості і перетину жил кабелів, розрахунок струмів нормального і аварійних режимів, вибір апаратів захисту. Основні розрахункові вирази для реалізації тієї чи іншої процедури наведені в [1 – 4].

Ціль роботи – розробити алгоритм проектної процедури обрання необхідного кабелю для електропостачання електрообладнання.

Розроблений узагальнений алгоритм представлено на рис. 1. При складанні алгоритму малось на увазі, що жила кабелю або сам кабель обирається зі стандартного ряду мідних або алюмінієвих дрітків з відомими усіма геометричними та фізичними параметрами.

Обраний алгоритм було застосовано для обрання кабелів електропостачання електромеханічного цеху і тим самим було підтверджено його працездатність.

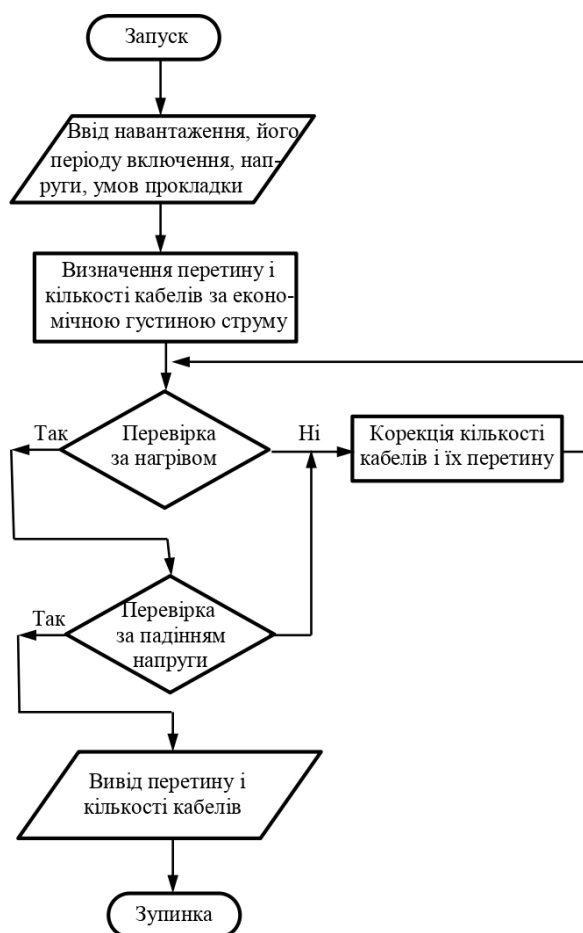


Рис. 1.

Висновки. Вибір перетину і кількості кабелів формалізовано у виді алгоритму, який опирається на три основні кроки: орієнтовний вибір кабелю за економічною густиною струму, перевірка на нагрів та на падіння напруги.

Список використаних джерел

1. Китаенко Г.И. Справочник судового электротехника. Т.1. Судовые электроэнергетические системы и устройства [Текст] / Г.И. Китаенко. – Л.: Судостроение, 1980. – 528 с.
2. Князевский Б.А. Электроснабжение промышленных предприятий [Текст] / Б.А. Князевский, Б.Ю. Липкин. – М.: Высшая школа, 1986. – 400 с.
3. Мелешкин Г.А. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах [Текст] / Г.А. Мелешкин. – СПб.: НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2005. – 376 с.
4. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах [Текст] / С.А. Ульянов. – М.: «Энергия», 1970. – 520 с.

УДК 621.313.2

Пальчиков О. О., к.т.н., Дойч С. В., Цюрисов М. Л.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗБУДНИКА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Більшість електроенергії виробляється турбогенераторами. Від їх системи збудження залежить статична і динамічна стійкість передачі, а також якість генерованої електроенергії. А тому моделювання збудження турбогенераторів представляє собою надзвичайно важливу задачу. Системи збудження турбогенераторів діляться на електромашинні, діодно-електромашинні, статичні діодні [1]. Існує тенденція переходу на діодно-електромашинні системи збудження, проте залишаються в експлуатації та все ще впроваджуються традиційні електромашинні системи збудження на основі колекторних генераторів постійного струму. Дві основні модифікації електромашинних систем збудження з паралельним та незалежним збудженням приведені на рис. 1 та рис. 2 відповідно.

Ціль роботи – розробити математичні моделі колекторних генераторів постійного струму з незалежним та паралельним збудженням, які працюють на обмотку збудження турбогенератора та розрахувати час перехідних процесів для їх типових режимів роботи.

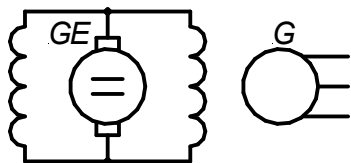


Рис. 1.

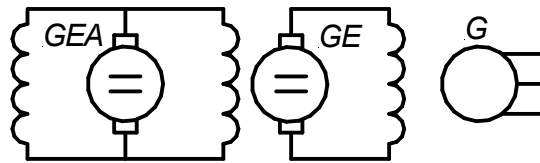


Рис. 2.

Типові системи лінійних диференціальних рівнянь колекторних машин постійного струму наведені в [2-5]. Однак, через припущення про лінійність зміни потокозчеплень ці рівняння не можуть бути використані для моделювання регулювання генератора з незалежним збудженням при широкій зміні струму збудження та для моделювання самозбудження генератора з паралельним збудженням. Тому необхідно рівняння, що включає потокозчеплення обмотки збудження, переписати через магнітний потік і додати рівняння залежності магніторушійної сили від магнітного потоку. Приклад апроксимації характеристики неробочого руху представлено на рис. 3. Початковий магнітний потік приймається 5% від номінального.

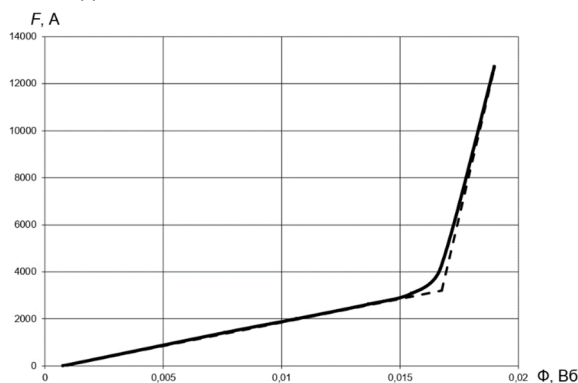


Рис. 3.

Рівняння системи збудження синхронного турбогенератора на основі колекторної машини постійного струму з незалежним збудженням мають вигляд:

$$\begin{cases} E = U_H + I_H \cdot r_{\Sigma} + I_H \cdot m_T (r_{\text{я}} + r_1 + r_{\text{дод}}) + L_{\Sigma} \frac{dI_H}{dt}; \\ U_{\text{зб}} = m_T I_{\text{зб}} R_{\text{зб}} + 2p \cdot \sigma \frac{d\Phi}{dt}; \\ E = C_e \cdot \Phi \cdot n; \\ F = \begin{cases} 2 \cdot 10^5 \cdot \Phi - 151,8 & \text{при } \Phi \in [0,000759; 0,01676] \\ 4,25 \cdot 10^6 \cdot \Phi - 6,8 \cdot 10^4 & \text{при } \Phi \in [0,01676; 0,019] \end{cases} \\ F = I_{\text{зб}} w_{\text{зб}}; \\ U_H = I_H \cdot R_H + L_H \frac{dI_H}{dt}, \end{cases} \quad (1)$$

де E – електрорушійна сила обмотки якоря; U_H – напруга навантаження (на обмотці збудження турбогенератора); I_H – струм навантаження; $r_{\text{я}}$, r_1 , $r_{\text{дод}}$ та r_{Σ} – опори відповідно обмотки якоря, компенсаційної обмотки, обмотки додаткових полюсів та щіток; m_T – коефіцієнт приведення опорів генератора до температури режиму; L_{Σ} – сумарна індуктивність обмоток якоря, компенсаційної та додаткових полюсів; $U_{\text{зб}}$, $I_{\text{зб}}$, $R_{\text{зб}}$ і $w_{\text{зб}}$ – напруга, струм, опір і кількість витків обмотки збудження; p – кількість пар полюсів; σ – коефіцієнт розсіювання магнітного поля головних полюсів; C_e – конструктивний коефіцієнт; Φ і F – магнітний потік і магніторушійна сила на один полюс; n – частота обертання якоря; R_H та L_H – опір та індуктивність навантаження (обмотки збудження турбогенератора).

Рівняння системи збудження синхронного турбогенератора на основі колекторної машини постійного струму з паралельним збудженням мають вигляд:

$$\begin{cases} E = U_H + I_{\text{я}} \cdot r_{\Sigma} + I_{\text{я}} \cdot m_T (r_{\text{я}} + r_1 + r_{\text{дод}}) + L_{\Sigma} \frac{dI_{\text{я}}}{dt}; \\ U_{\text{зб}} = m_T I_{\text{зб}} R_{\text{зб}} + 2p \cdot \sigma \frac{d\Phi}{dt}; \\ E = C_e \cdot \Phi \cdot n; \\ F = \begin{cases} 2 \cdot 10^5 \cdot \Phi - 151,8 & \text{при } \Phi \in [0,000759; 0,01676] \\ 4,25 \cdot 10^6 \cdot \Phi - 6,8 \cdot 10^4 & \text{при } \Phi \in [0,01676; 0,019] \end{cases} \\ F = I_{\text{зб}} w_{\text{зб}}; \\ U_H = I_H \cdot R_H + L_H \frac{dI_H}{dt}; \\ I_{\text{я}} = I_H + I_{\text{зб}}. \end{cases} \quad (2)$$

де $I_{\text{я}}$ – струм обмотки якоря.

Системи рівнянь (1) і (2) не включають рівняння балансу механічної потужності. Через те, що потужність збудника складає близько 0,4-0,5% потужності турбогенератора, а тому можна вважати, що при її зміні частота обертання якоря залишається незмінною. Рівняння неробочого руху в (1) і (2) відповідає рис. 3. Результати моделювання 120 кВт збудників на обмотку збудження 25 МВт турбогенератора для їх найбільш типових режимів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Тип збудника	Режим	Час перехідного процесу, с
Колекторний генератор з незалежним збудженням	Регулювання в робочому режимі	4,79
	Форсування збудження	4,68
Колекторний генератор з паралельним збудженням	Самозбудження до точки робочого режиму	2,48
	Регулювання в робочому режимі	4,79
	Форсування збудження	5,46
	Самозбудження	6,11

Висновки. Запропоновано математичні моделі збудників турбогенераторів на основі колекторних генераторів постійного струму з незалежним та паралельним збудженням з урахуванням нелінійності залежності магніто-

рушійної сили від магнітного потоку обмотки збудження. В результаті моделювання з'ясовано час перехідних процесів для найбільш типових режимів роботи вказаних збудників.

Список використаних джерел

1. Алексеев, О.П. Автоматика электроэнергетических систем [Текст] / О.П. Алексеев, В.Е. Казанский, В.Л. Козис и др.; Под ред. В.Л. Козиса. – М.: Энергоиздат, 1981. – 480 с.
2. Гольдберг, О. Д. Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах и вопросы их проектирования [Текст] / О. Д. Гольдберг, О. Б. Буль, И. С. Свириденко, С. П. Хелемская. – М.: Высшая школа, 2001. – 512 с.
3. Иванов-Смоленский, А.В. (2004). Электрические машины: В 2-х т.: учебник для вузов. Т. 2. [Текст] / А.В. Иванов-Смоленский. – М.: МЭИ, 2004. – 525 с.
4. Копылов, И. П. Математическое моделирование электрических машин [Текст] / И. П. Копылов. – М.: Высшая школа, 2001. – 318 с.
5. Копылов, И. П. Электромеханические преобразователи энергии [Текст] / И. П. Копылов. – М.: Энергия, 1973. – 400 с.

УДК 621.311.15

Самарський А. О., Спінчевський А. О., Сmachенко В. П., Шкурко П. І.

Науковий керівник Пальчиков О. О., к.т.н.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ПОСТІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НЕОБХІДНОЇ ПОТУЖНОСТІ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Методи розрахунку необхідної генерованої потужності діляться на метод кореляційних залежностей і на, так звані, табличні методи: постійних навантажень (вводяться коефіцієнти одночасності включення споживачів), ймовірно-аналітичний (ґрунтується на розрахунку математичного очікування і дисперсії споживаних потужностей) і імовірнісний (на основі методу Монте-Карло) [1, 6]. Всі зазначені методи є тим чи іншим наближенням для оцінки потужності електростанції в тому чи іншому режимі, точне значення якої може бути отримано на основі усередненого добового графіка споживання електричної потужності. Незважаючи на деяку суб'єктивність найбільш достовірним є метод постійних навантажень [2, 4, 5, 7]. Тому автоматизація розрахунків необхідної потужності суднової електростанції на основі цього методу є актуальним завданням.

Ціль роботи – дослідити можливість застосування апроксимацій залежностей коефіцієнту корисної дії і коефіцієнту потужності в методі постійних навантажень для визначення компонентів повної споживаної потужності суднових електромеханізмів.

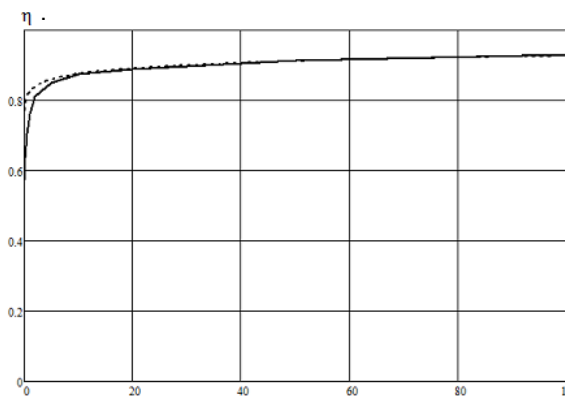


Рис. 1

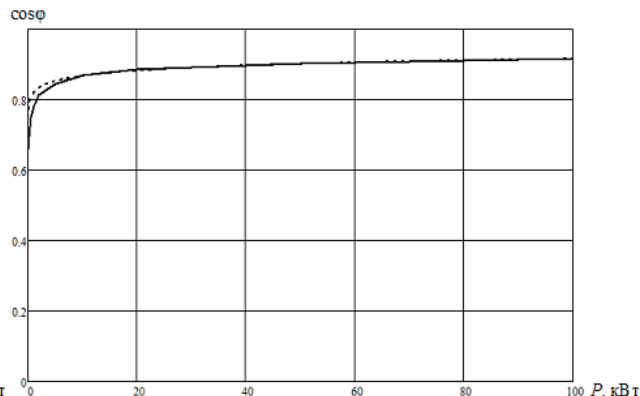


Рис. 2

Таблиця 1

Найменування режиму	P, кВт		S, кВА	
	графічно	аналітично	графічно	аналітично
«Formand»				
Ходовий режим	197,45	197,39	229,52	228,24
Стоянка з вантажними операціями	462,03	469,04	521,14	531,84
Аварійний режим	72,12	72,45	80,01	80,47

«Прометей»				
Промисловий хід	1604	1609	1769	1758
Стоянка з вантажними операціями	1116	1119	1231	1218
Аварійний режим	50,09	49,49	55,07	53,83
«Сосновець»				
Ходовий режим	81,92	82,28	97,12	96,24
Стоянка з вантажними операціями	172,16	173,37	197,73	198,92
Аварійний режим	50,12	49,77	56,50	55,83
«Звенигород»				
Ходовий режим	194,10	194,14	225,25	224,21
Стоянка з вантажними операціями	156,03	155,77	181,22	181,135
Аварійний режим	91,54	91,92	102,04	102,62

У даній роботі вводиться припущення, що джерелом механічної потужності в судновому електроприводі є асинхронний двигун. Залежності коефіцієнтів корисної дії і потужності можна представити наступними апроксимаційними залежностями:

$$\eta = 0,051 \lg(P_d \cdot k_b \cdot k_s \cdot 10^{16}); \quad (1)$$

$$\cos \varphi = 0,048 \lg(P_d \cdot k_b \cdot k_s \cdot 10^{17}), \quad (2)$$

де P_d – споживана потужність двигуном суднового електромеханізму, кВт; k_b – коефіцієнт використання електромеханізму; k_s – коефіцієнт завантаження електромеханізму.

Вихідні залежності визначені за [3] і їх апроксимації за виразами (1-2) для зіставлення наведені на рис.1 і рис. 2 (суцільна лінія – вихідна залежність, штрихова – її апроксимація).

Результати розрахунків потужності суднової електростанції для характерних режимів роботи суховантажів «Звенигород», «Formand», «Сосновець», а також риболовного траулера «Прометей» методом постійних навантажень з визначеними коефіцієнтами корисної дії і потужності за вихідними кривими і за їх апроксимаційними залежностями наведені в табл. 1.

Висновки. Максимальні похибки у визначенні активної і повної потужностей при використанні запропонованих апроксимаційних виразів складають 1,5% і 2,25% відповідно. Дані апроксимаційні залежності можна використовувати при визначенні необхідної потужності суднової електростанції методом постійних навантажень.

Список використаних джерел

1. РД 5Р.6168-92. Судовые электроэнергетические системы. Методы расчетов электрических нагрузок и определение необходимой мощности генераторов электростанций [Текст].
2. Баранов А.П. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы: Учебник для вузов [Текст] / А.П. Баранов. – М.: Транспорт, 1988. – 328 с.
3. Гольдберг О.Д. Проектирование электрических машин [Текст] / О.Д. Гольдберг, И.С. Свириденко. – М.: Высшая школа, 2006. – 431 с.
4. Китаенко Г. И. Справочник судового электротехника. Т. 1. Судовые электроэнергетические системы и устройства [Текст] / Под ред. Г. И. Китаенко. – Л.: Судостроение, 1980. – 528 с.
5. Лейкин В.С. Судовые электрические станции и сети: Учебник для мореходных и арктич. училищ [Текст] / В.С. Лейкин. – М.: Транспорт, 1982. – 256 с.
6. Румб В.К. Судовые энергетические установки: учебник. СПбГМТУ [Текст] / В.К. Румб, В.Г. Яковлев, Г.И. Шаров и др. – СПб., 2007. – 622с.
7. Сергиенко Л.И. Электроэнергетические системы морских судов: Учебник для мореход. училищ [Текст] / Л.И. Сергиенко, В.В. Миронов. – М.: Транспорт, 1991. – 264 с.

УДК 681.518.3

*Волянський С. М., к.т.н., Ткаченко В. Я., Агейчев М. С., Демчук А. І., Кучеренко М. О., магістри
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

АСИНХРОНІЗОВАНИЙ ВЕНТИЛЬНИЙ ДВИГУН

Асинхронізований вентильний двигун (АВД) відноситься до числа керованих електричних машин. Його можна розглядати як результат синтезу вентильного двигуна (ВД) постійного струму і асинхронізованої синхронної машини. Необхідність цього синтезу продиктована бажанням позбутися основних недоліків ВД, а саме відсутності комутації струму в інверторній ланці перетворювача частоти, що живить якор, в режимі упору, а також неможливості рекуперативного гальмування до повної зупинки приводу, побудованого на базі ВД. Відсутність комутації струму якоря ВД в режимі упору пов'язано з тим, що при нерухомому роторі сигнали, що надходять з датчиків положення ротора (ДПР), викликають подачу керуючих імпульсів на одні і ті ж тиристори, які залишаються відкритими до тих пір, поки ротор не повернеться на певний кут. Використання інвертора струму зі штучною комутацією також принципово не може вирішити цієї проблеми, оскільки і в цьому випадку комутація струму якоря жорстко пов'язана з положенням ротора. У зв'язку з цим виникає необхідність створити в зазорі електричної машини обертове магнітне поле, навіть при нерухомому роторі. Це обертове магнітне поле, наводячи електрорухомию силу (ЕРС) в статорних обмотках електричної машини (в її якорі), створювало б умови для успішної комутації струму якоря, а використання цих ЕРС для синхронізації системи управління перетворювачем дозволило б позбутися ДПР, наявність якого є суттєвим недоліком ВД [1].

Метою роботи є створення нового типу узагальненої електромеханічної системи на основі АВД контактного або безконтактного виконання з відповідними способами і законами управління, які в повній мірі задовольняють сучасним вимогам експлуатації систем електроприводу.

Означена вище задача успішно вирішена в АВД, який з цієї точки зору можна розглядати як ВД, збуджений змінним струмом. Відмінність АВД від ВД постійного струму полягає в тому, що в роторні обмотки АВД подається трифазний струм певної частоти, завдяки чому в його повітряному зазорі створюється обертове магнітне поле навіть при нерухомому роторі. Статорна обмотка АВД живиться від ПЧ, інвертор струму якого управляється сигналами від датчика фази напруги (ДФН). Тим самим здійснюється самосинхронізація АВД по положенню результуючого магнітного поля. Недоліком способу збудження ВД струмом промислової частоти є те, що вже при номінальній частоті обертання двигуна частота струму якоря зростає в два рази, що в свою чергу викликає збільшення втрат в стали якоря в чотири рази і суттєво знижує ККД електроприводу в цілому. Крім того, при порушенні АВД струмом з частотою 50 Гц виникає явище рекуперації енергії ковзання обмоткою збудження назад в мережу, що викликає зниження використання активних матеріалів двигуна і його енергетичних показників. У зв'язку з цим для усунення зазначених небажаних явищ зроблені спроби збудження ВД струмом, маючим знижену частоту в порівнянні з частотою мережі живлення.

Особливістю АВД є те, що подібно ВД постійного струму він працює за принципом дії машини постійного струму. Інвертор струму якоря АВД управляється за принципом імітації положення щіток на колекторі двигуна постійного струму (ДПС). При цьому виходячи з особливостей роботи інвертора струму якоря можлива фіксація фази струму якоря щодо його напруги, як і у машин постійного струму. Можливість регулювання зсуву фаз між першими гармоніками струму і напруги якоря дозволяє отримувати як жорсткі, так і м'які механічні характеристики. При зміні навантаження на валу АВД у нього одночасно змінюється як кут навантаження, так і швидкість обертання ротора, що надає цій електричній машині властивості машини постійного струму. У АВД, як і у ДПС, можливо регулювання швидкості як зміною величини напруги якоря, так і струмом збудження. Електромеханічні характеристики АВД подібні аналогічним характеристикам ДПС з частковою або повною компенсацією реакції якоря.

У ряді областей електроприводу поряд з необхідними механічними, робочими, пусковими характеристиками до електричних машин ставляться специфічні вимоги. Так, наприклад, до машин, що експлуатуються у вибухонебезпечних, агресивних, перезволожених середовищах, ставиться вимога по відсутності в їх конструкції ковзаючих контактів. Бажаним є застосування безконтактних електричних машин і в електроприводах, що працюють в умовах підвищеної вібрації і ударних навантажень (наприклад, в гребному приводі судів криголамного типу), а також у важкодоступних для обслуговування електроприводах (наприклад, у водопогружних пристроях). Тому логічним є використання асинхронізованого вентильного двигуна в безконтактному виконанні (БАВД).

БАВД може мати в своєму складі каскад з двох електричних машин – асинхронних двигунів з фазними роторами, які мають механічне та електричне з'єднання. Одна з електричних машин є власне асинхронізованим вентильним двигуном, друга – призначена для збудження АВД і називається збудником. Статори обох електричних машин підключені до власних статичних перетворювачів ПЧ і ПЧ_г з відповідними системами управління, що забезпечують БАВД ті ж властивості, що і у контактному АВД.

Висновки. На етапі проектування узагальненої електромеханічної системи обґрунтовано можливість використання АД контактної або безконтактної виконання. Зазначено, що базовий АД приводу працює за принципом дії машини постійного струму, що досягається певними законами його управління, зокрема постійністю зсуву фаз перших гармонік струму і напруги якоря, постійністю частоти збудження. З метою забезпечення для базового АД властивостей ДПС ПЧ струму якоря повинен мати вихідну інверторну ланку по типу інвертора струму, а ПЧ збудження – інверторну ланку по типу інвертора напруги.

Список використаних джерел

Тутаев Г. М. Исследование электропривода с асинхронизированным вентильным двигателем в режиме упора / Г. М. Тутаев, И. В. Гуляев, В. В. Никулин // АПЭП-2004 (подсекция «Мехатроника и вентильный электропривод») : материалы VII Междунар. конф. — Новосибирск, 2004. — Т. 6. — С. 192–193.

Aarnley P. P., Watson J. F. Review of position-sensorless operation of brushless permanent-magnet machines / P. P. Aarnley, J. F. Watson // IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2006. — Vol. 53. — pp. 352–362.

УДК 681.518.3

Волянська Я. Б., к.т.н., Шульгін І. Г., Кравченко Д. І., Міщиряков І. В., Першин С. С., Біткулов А. О., магістри Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

На основному етапі життєвого циклу [1] будь-якої складної технічної системи (СТС) [2], а саме – на етапі її експлуатації [3, 4], завжди виникає проблема забезпечення цієї системи кваліфікованим і якісним технічним обслуговуванням і ремонтом (ТОіР). Ця проблема суттєво ускладнюється для особливих СТС, наприклад, систем, обладнання та устаткування подвійного і спеціального призначення.

Існує великий клас устаткування і СТС, які повинні обслуговуватися і ремонтуватися з дотриманням особливих вимог не тільки до технічної складової забезпечення ТОіР, а і до особового складу ремонтно-обслуговуючого персоналу (кваліфікація, допуск до державної таємниці тощо), до підприємства, яке забезпечує ТОіР (до спроможності підприємства виконати спеціальні вимоги, до його розташування, тощо).

На прикладі необхідності забезпечення якісним ТОіР багатоцільового судна подвійного призначення (БСПП) типу «ріка-море» льодового класу розглянемо проблемні особливості аргументованого обрання такого підприємства, яке задовольнить рядку основних та спеціальних вимог до проведення ТОіР.

Складність обрання такого підприємства полягає, в першу чергу у тому, що БСПП найчастіше не можуть обслуговуватися на цивільних судноремонтних заводах і верфях (через необхідність забезпечення особливих допусків, ліцензій і сертифікатів, наявності та можливості необхідного доступу до інформації, наявності спеціального обладнання, кваліфікованих кадрів вузького фаху, спеціалізованих запчастин, вимірювальних інструментів, матеріалів, тощо). Але у зв'язку із:

а) швидкими змінами зовнішньополітичної ситуації для України;

б) появою і розвитком ринкових пропозицій з ТОіР, у тому числі й закордонних судноремонтних заводів, які мають необхідні технології і гарантії;

в) зростаючою кількістю вітчизняних приватних і державних організацій і підприємств, готових проводити ТОіР на особливих умовах, постає неоднозначна проблема «найкращого» вибору такої обслуговуючої організації, яка б задовольняла низці умов.

Метою роботи є створення засад для забезпечення аргументованого вибору найкращої за багатьма критеріями організації по проведенню ТОіР. Саме аргументований вибір такої обслуговуючої організації і є важливим, актуальним науково-практичним завданням, вирішення якого забезпечує, у кінцевому підсумку, найкращу якість проведення ТОіР. Саме це означає і найвищу (у даному контексті – найкращу), з можливих варіантів, ефективність використання фінансових і інших ресурсів, усуває корупційні ризики і суб'єктивний розподіл ресурсів, забезпечуючи гарантовану надійність функціонування і виконання технологічних функцій та спеціальних завдань СТС – багатоцільового судна подвійного призначення.

Під час аргументованого прийняття рішення (з низки можливих варіантів), виникають додаткові складнощі у зв'язку із тим, що судноремонтні організації і підприємства характеризуються різнорідними, інколи – суперечливими, властивостями та параметрами. Часто, за низкою параметрів і характеристик, одна з передбачуваних організацій забезпечення ТОіР, може суттєво відрізнятись у найкращий бік, а за іншими параметрами – бути найгіршою. Але при цьому коректно обґрунтувати і аргументувати зіставлення різнорідних параметрів і характеристик не завжди вдається. Саме тому завдання відбору «оптимального» постачальника послуг ТОіР повинне вирішувати

тися на основі одночасного, аргументованого й зіставленого обліку всіх обраних для аналізу параметрів і характеристик, і є до цього часу є невирішеним.

Зрозуміло, що під час відбору «оптимальної» організації виникають труднощі порівняння обраних параметрів і характеристик, що пов'язано з несумісністю значень окремих параметрів і характеристик, вимірюваних різнотипними шкалами, лінгвістичними оцінками, якісними й кількісними характеристиками. Але при формальному використанні методів кваліметрії часто виникають і логічні помилки. Наприклад, після бального ранжирування параметрів і характеристик СТС проводяться математичні операції з балами, так само, як і з числовими значеннями цих параметрів і характеристик.

Висновки. Рішення проблеми «оптимального» відбору організації з проведення ТОiP є актуальним науковим завданням, яке включає в себе також і перехід до єдиної шкали вимірювання з необхідністю збереження змістового навантаження аналізованих параметрів і характеристик. Як один з можливих варіантів рішення означеної вище проблеми авторами розглядається розробка методів для проектування системи підтримки прийняття рішень (СППР), які будуть використовуватися при ТОiP, експлуатації, тендерних процедурах на замовлення проєктів та створення СТС спеціального (подвійного) призначення, що забезпечить підвищення ефективності СТС на основних етапах її життєвого циклу.

Список використаних джерел

Дресвянников, В. А. Особенности жизненных циклов различных экономических систем / В. А. Дресвянников // Издательская группа «Дело и сервис». – 2008. – Режим доступу: <https://dis.ru/library/557/26780>.

Батоврин, В. К. Управление жизненным циклом технических систем: серия докладов / В. К. Батоврин, Д. А. Бахтурин, И. С. Мацкевич, М. С. Липецкая. – СПб.: Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад», 2012. – Вып. 1. – 59 с.

Романов, В. Н. Техника анализа сложных систем / В. Н. Романов. – СПб.: СЗТУ, 2011. – 287 с.

Голіков, В. А. Розвиток сучасної теорії і практики технічної експлуатації морського і річкового флоту: концепції, методи, технології / В. А. Голіков, О. А. Онищенко // Суднові енергетичні установки. – 2017. – № 37. – С. 13–27. Режим доступу: <http://old.onma.edu.ua/content/nauka/seu/37.pdf>.

УДК 621.314.2

Дзисюк Я. В., Жук О. К. к.т.н.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ГІБРИДНІ СУДНОВІ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ З СИЛОВИМИ НАПІВПРОВІДНИКОВИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ

Створення і удосконалення гібридних судових енергоустановок, що використовують відновлювальні джерела і накопичувачі енергії, є одним з найперспективніших напрямів розвитку суднової електроенергетики.

Світова морська транспортна галузь та суднобудівна промисловість стикаються з необхідністю одночасно відповідати зростаючим міжнародним екологічним вимогам і зберігати при цьому енергетичну та експлуатаційну ефективність, а також конкурентоздатність суден. Щоб вирішити ці проблеми, останнім часом власники та оператори все частіше звертаються до використання нетрадиційних джерел енергії для живлення та приведення у рух суден.

Інші галузі промисловості, наприклад, наземна та космічна електроенергетика вже мають позитивний досвід застосування інноваційних технологій відновлювальних джерел. Тим більш важливо вивчати різні варіанти використання гібридної електроенергії в інших галузях, аналізувати їх переваги та недоліки, адаптувати набуті досягнення до суднової електроенергетики, реалізуючи їх в конкретних практичних розробках. Проведення подібного аналізу і становить **мету** даної роботи.

Домінуючою протягом багатьох десятиліть структурою є схема суднової пропульсивної енергоустановки, в якій механічна енергія головного теплового двигуна (наприклад, дизеля) безпосередньо забезпечує рух судна через гребний вал і гвинт, а електроенергія для живлення загальносуднових навантажень (ЗСН) виробляється допоміжними дизель-генераторними установками (рис. 1).

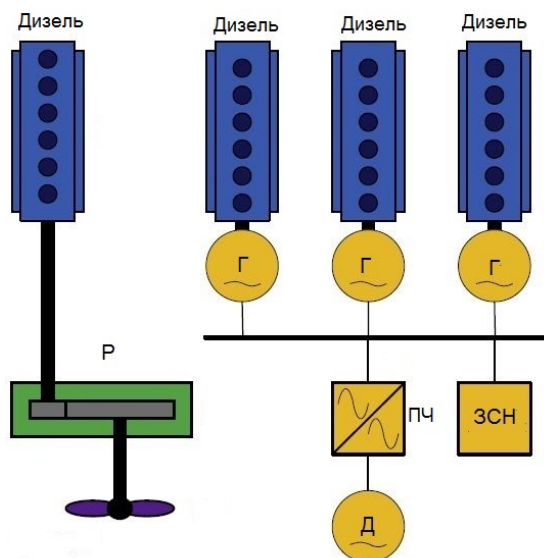


Рис. 1.

Використання такої простої, надійної і звичної схеми, ймовірно, продовжиться і в осяжному майбутньому. Однак, у багатьох випадках перевага віддається альтернативним системам з гребними електричними установками (ГЕУ), в яких енергія головних теплових двигунів через механічно з'єднані з ними генератори (Г) передається на гребні електричні двигуни (Д) (рис. 2).

Головною перевагою електричних енергоустановок є можливість оптимізувати навантаження головних теплових двигунів, щоб отримати максимальний ККД та зменшити витрату палива. Крім того, відсутність на судах з електричним рухом протяжного гребного вала дозволяє раціональніше використовувати внутрішньо-судновий простір [1].

Сучасні суднові електричні енергоустановки і системи вдосконалюються завдяки впровадженню нових технологій – використанню альтернативних джерел електроенергії (паливних елементів, сонячних батарей, вітрогенераторів) та її накопичувачів (акумуляторів, суперконденсаторів, маховиків) для повного або часткового електрозабезпечення суднових споживачів.

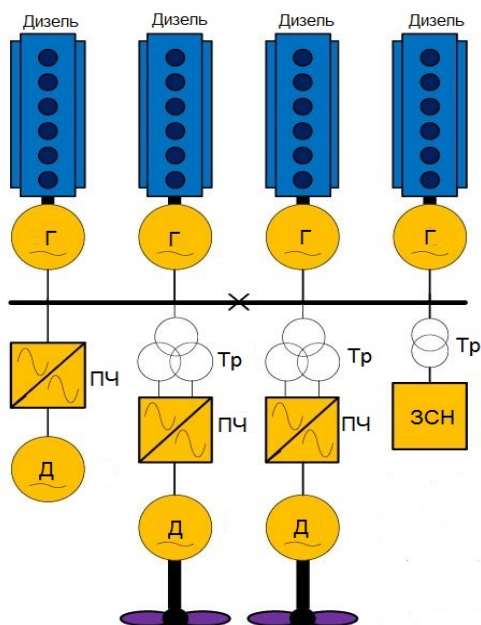


Рис. 2.

Судна з подібними можливостями мають також складні системи управління електроенергією, включаючи силові напівпровідникові комплекси та системи для перетворення параметрів електроенергії. Такі типи судових енергоустановок виходять далеко за рамки стандартних рішень і тому підпадають під новий клас **гібридних судових електроенергетичних систем (ГСЕЕС)**. Приклад структури таких систем з головними шинами змінного струму показано на рис. 3.

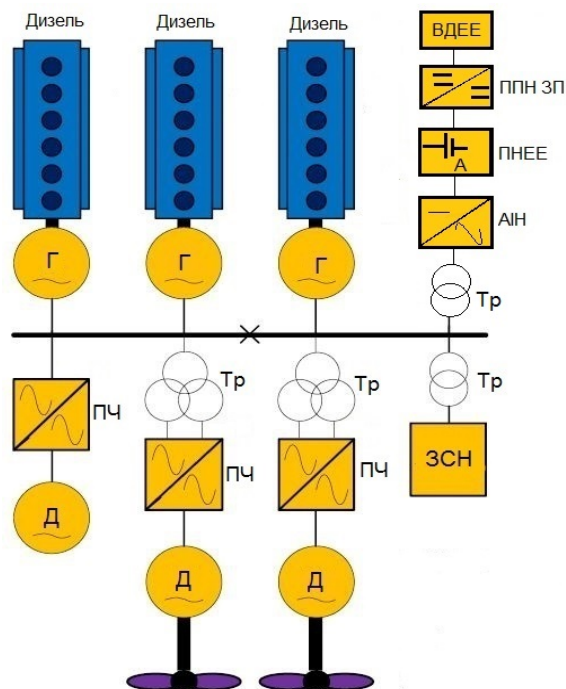


Рис. 3.

Розвиток гібридних енергоустановок зумовлено прогресом в технологіях основних складових елементів систем використання відновлювальних джерел енергії, які можуть бути поділені на три основні категорії:

- пристрої генерації або відновлювальні джерела електроенергії (ВДЕЕ) – паливні елементи (ПЕ), фотоелектричні панелі (ФП) та вітрогенератори (ВГ);
- пристрої накопичення електроенергії (ПННН) – акумулятори (А), насамперед літій-іонні батареї; конденсатори, насамперед суперконденсатори (СК) та гібридні конденсатори (ГК); маховикові накопичувачі (МН);
- силові напівпровідникові перетворювачі параметрів електроенергії (перетворювачі постійної напруги (ППН), які використовуються в зарядних пристроях (ЗП) – DC/DC; автономні інвертори напруги (АІН) – DC/AC; випрямлячі (В) – AC/DC, перетворювачі частоти (ПЧ) – AC/AC тощо), завдяки яким пристрої генерації і накопичення інтегруються в загальну ГСЕЕС.

Унікальні переваги ГСЕЕС можна звести до двох основних:

- підвищена гнучкість, надійність та безпека, що дозволяє запускати мінімальну кількість генераторів, використовуючи поновлювальні джерела електроенергії і накопичувачі для доповнення, а в деяких випадках і для повної заміни основних джерел (операції маневрування, динамічного позиціонування, або раптове знеструмлення основних генераторів);
- повна відповідність новим суворим нормам Міжнародної конвенції по запобіганню забрудненню з суден, що вимагаються в екологічно чутливих районах. Зазначені якості забезпечують власникам і операторам максимальну економічну і експлуатаційну ефективність при використанні ГСЕЕС [2-3].

Паливні елементи безпосередньо виробляють електричну енергію в результаті електрохімічного процесу перетворення енергії водню при нульових викидах, минуючи процеси горіння. ПЕ можуть бути використані для комбінованої виробітки (когенерації) електроенергії і тепла з утилізацією останнього. Тому енергоефективність ПЕ порівняно з найбільш ефективними електромеханічними генераторами становить 85%.

Очікується, що найближчим часом використання ПЕ зростатиме на малих і середніх судах (паромах). Вже існують технології прямого одержання водороду з традиційних вуглеводневих палив в установках риформінгу, конструктивно суміщених з ПЕ [4].

Фотоелектричні панелі вже реально використовуються на судах як альтернативні джерела електроенергії. Сучасні ФП виробляються масово, коштують недорого, мають хороші показники питомої потужності на

одиницю площі (до 170 Вт/м²) і великий термін служби (до 25 р.). Їх доцільно використовувати на судах з великою відкритою площею верхньої палуби. Наприклад, фотоелектрична генерація з наступним накопиченням дозволила на морському автомобілевозі використовувати накоплену під час переходу електроенергію для забезпечення загальносуднових навантажень під час стоянки у портах при відключених основних генераторах [5].

Технології використання *енергії вітру* знаходяться ще в стадії розвитку і стикаються з проблемами, які ще належить подолати – великі розміри парусів, перепони під час транзиту під мостами, проблеми безпеки під час вантажно-розвантажувальних робіт [6].

Серед пристроїв накопичення енергії безперечно перевага належить *літій-іонним акумуляторам*: їх питома енергія досягає 250 Вт год /кг і в 2...8 разів перевищує цей показник для акумуляторів інших типів. Низький внутрішній опір робить літій-іонні акумулятори найбільш прийнятними для використання в установках великої потужності. Їхня вага складає третину від ваги свинцево-кислотних акумуляторів, а розміри значно менші ніж у акумуляторів інших типів аналогічної ємності. Вони потребують мінімального технічного обслуговування і дозволяють проводити прискорену зарядку при незначних теплових втратах. Літій-іонні системи можуть мати симетричні або несиметричні режими заряду і розряду. Асиметричні режими допускають струм і потужність при розряді в декілька разів більші, ніж при заряді. Життєвий цикл літій-іонних батарей значно більший (від 4 до 10 разів) порівняно з традиційними системами.

Серед недоліків літій-іонних акумуляторів головним є так званий тепловий розгін – неконтрольована і самоприскорювальна хімічна реакція, яка призводить до катастрофічного руйнівного пошкодження комірки батареї з можливим вибухом і пожежею на судні [7]. Але за наявності систем контролю за температурою такі випадки повністю виключаються, про що свідчить досвід успішної експлуатації найбільшого в світі судна з ГСЕЕС – круїзного лайнера *Roald Amundsen*, на якому встановлено дві акумуляторні системи з потужностями заряду і розряду відповідно 627 кВт і 1750 кВт. Завдяки гібридним технологіям на цьому судні витрати пального скорочено на 20% [8].

Гнучкість гібридних технологій дозволяє одержувати позитивний ефект в залежності від типу судна і його конкретних робочих режимів завдяки правильному вибору топології ГСЕЕС і поєднання відповідних силових перетворювачів в системі.

На рис. 4 представлено структуру ГСЕЕС з гібридною рушійною установкою і головними шинами змінного струму, яка була впроваджена в 2014 р. фірмою *Damen* на портовому буксирі. Завдяки наявності трьох-вального редуктора Р, гребний гвинт обертається або від головного дизеля, або від гребного електродвигуна. В режимах малої тяги при відключеному головному двигуні використовується електропривод гвинта, який працює за рахунок енергії акумуляторної батареї. При повній тязі використовується прямий механічний привод від головного дизеля, а гребний електродвигун переходить в генераторний режим і використовується для живлення загальносуднових навантажень і для підзарядки акумуляторних батарей. Таким чином, поєднується досягнення максимального ККД головного дизеля в режимах повної тяги із мінімізацією викидів при роботі ГЕУ від джерела «чистої» енергії в режимах малої тяги [9].

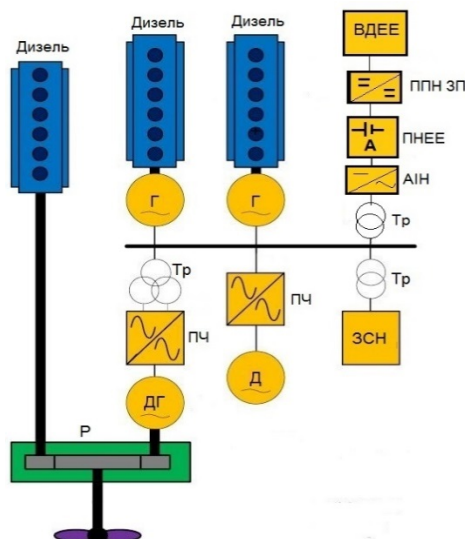


Рис. 4.

Альтернативою по відношенню до ГСЕЕС з шинами змінного струму, представлених на рис. 3 і рис. 4, є схема з шинами постійного струму (рис. 5).

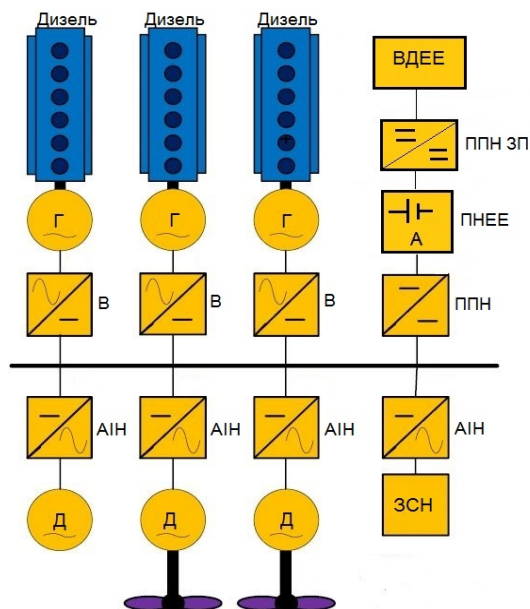


Рис. 5.

Одним з основних недоліків ГЕУ з єдиною ГСЕЕС постійної частоти і шинами змінного струму є те, що витрата палива головними дизелями, які працюють з фіксованою частотою обертання при частковому завантаженні вища, ніж була б для них при змінній частоті обертання (як в системі з прямим механічним приводом). Разом з цим, використання ГСЕЕС з єдиними шинами змінного струму зі змінюваною частотою практично неможливе, тому що загальносуднове навантаження вимагає фіксованої частоти. Втім, при переході до єдиних шин постійного струму і використанні відповідного комплексу силових перетворювачів ГСЕЕС може допускати режими роботи головних дизель-генераторів зі змінюваною частотою. Найважливіші переваги системи постійного струму: підвищення ефективності використання палива і зменшення втрат при перетворенні параметрів електричної енергії. В такій системі головні дизелі можуть працювати зі змінною частотою при зменшених витратах палива, а головні генератори не критичні до точності стабілізації частоти і напруги і не вимагають виконання умов синхронної роботи. Стабілізація частоти і напруги живлення загально-суднових навантажень забезпечується окремим інвертором, вхід якого підключений до шин постійного струму. На перший погляд, перехід до такої структури ускладнює схему ГСЕЕС, оскільки в такому разі всі генератори і навантаження повинні підключатися до мережі постійного струму через окремі перетворювачі. Однак, оскільки потужність ЗСН, які отримують живлення фіксованої частоти, складає лише невелику частку від потужності ГЕУ, споживачі якої отримують живлення від генераторів із змінюваною частотою через вже передбачені силові напівпровідникові перетворювачі (перетворювачі використовуються при будь-якій топології ГСЕЕС), загальні витрати можуть бути знижені [10].

Системи з шинами постійного струму мають більшу стійкість, оскільки задачі стабілізації частоти і напруги вирішуються лише для їх локальної частини з загальносудновими навантаженнями. Основний, найбільш потужний блок навантажень, що живиться від шин постійного струму вимагає, насамперед, лише надійного захисту від струмів к.з.

Висновки. Запропоновано структурні вирішення побудови суднових гібридних пропульсивних енергоустановок з силовими напівпровідниковими перетворювачами. Розглянуто основні складові систем використання відновлювальної енергії на судах. Показано, що гібридні технології дозволяють одержувати позитивний ефект в залежності від типу судна і конкретних режимів роботи лише за умови правильного вибору топології гібридної суднової електроенергетичної системи, в залежності від типу і конкретних режимів роботи судна, і використання в ній відповідних силових перетворювачів.

Список використаних джерел

1. Comparison of Conventional vs. Diesel Electric Propulsion System. Reference: 'Electrical Propulsion System in Ships'. [Інтернет ресурс]: <http://www.marineinsight.com/marine-electrical/electrical-propulsion-system-in-ships/>
2. . Курылев А. С., Рубан А. Р., Курылев С. А. Гибридная судовая энергетическая установка // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2016. № 1. С. 478-480.
3. R.D. Geertsma , R.R. Negenborn , K. Visser , J.J. Hopman. Applied Energy: Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments. <http://www.elsevier.com/locate/apenergy>

4. М.А. Касаткин. Альтернативные источники энергии: Опыт создания энергоустановок на топливных элементах в филиале Крыловского ГНЦ. <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=7495>
5. С. В. Кононенко, С. В. Головкин, М. А. Надеев, В. А. Павленко: Судовые электроэнергетические комплексы и системы: Применение солнечных батарей на объектах морской инфраструктуры. // Вестник АГТУ Сер: Морская техника и технология 2018 № 3
6. О.А. Бурмакин, Ю.С. Малышев, Ю.В. Варечкин, И.В. Сычушкин. Обоснование эффективности судовых ветрогенераторных установок // Труды Нижегородского ГТУ им. Р.Е. Алексеева №2(104)
7. Performance of Various Lithium-Ion chemistries. Reference: 'BU-205: Types of Lithium-ion'. Credits: Cadex and Boston Consulting Group. http://www.batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion
8. MS Roald Amundsen Polar Cruise Ship [Интернет ресурс]: <https://www.ship-technology.com/projects/ms-roald-amundsen-polar-cruise-ship/>
9. Damen RSD Tug 2513 undertakes successful towing tests with Svitzer in Port of Felixstowe. <https://www.hellenicshippingnews.com/damen-rsd-tug-2513-undertakes-successful-towing-tests-with-svitzer-in-port-of-felixstowe/>
10. Курылев А. С., Рубан А. Р., Курылев С. А. Гибридная судовая энергетическая установка // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2016. № 1. С. 478-480

СЕКЦІЯ 4. ПІДВОДНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 629.5

Пономаренко В. В., магістрант.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

СИСТЕМА СТАБІЛІЗАЦІЇ СУДНА НА КУРСІ НА БАЗІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Значні досягнення сучасних інформаційних технологій й поширення мікропроцесорної обчислювальної техніки відбиваються на розвитку приладів, систем навігації й керування рухом морських рухливих об'єктів. З розвитком теорії нечітких множин і нечіткої логіки з'являється можливість удосконалювання судових авторульових на базі використання нової елементної бази систем керування – нечітких регуляторів, що забезпечують високу швидкість й порівняно просте програмування.

На рис. 1 наведена структурна схема системи керування рухом маломірного судна на основі нечіткого регулятора. При керуванні судном кермовий стежить за відхиленням судна від заданого курсу й кутовою швидкістю повороту судна й відкладає кут перекладки керма відповідно до цих величин так, що судно виходить на заданий курс із максимальною точністю. При хвилюванні кермовий буде реагувати тільки на більші відхилення, тим самим обмежується число перекладки керма, що підвищує ресурс служби авторульового [1].

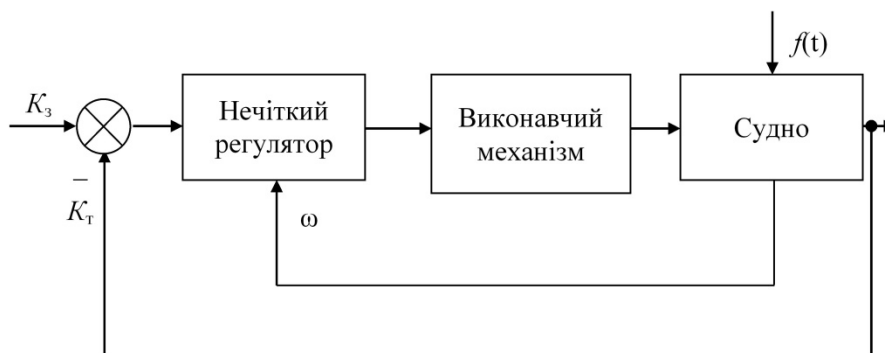


Рис. 1.

Для нечіткого регулятора системи керування рухом судна за вхідні величини обираємо кут відхилення між поточним і заданим курсами судна і кутову швидкість повороту судна, а вихідною – кут перекладки керма. Закон керування задамо у вигляді бази правил на основі моделювання дії кермового при керуванні судном.

Для кожної змінної задамо лінгвістичні терми, відповідні до деяких діапазонів чітких значень.

Для змінної «Відхилення» пропонується використовувати сім термів: негативне велике (НВ); негативне середнє (НС); негативне мале (НМ); нуль (Н); позитивне мале (ПМ); позитивне середнє (ПС); позитивне велике (ПБ), у діапазоні значень $[-20...20]$ градусів.

Для другої вхідної змінної «Кутова швидкість» пропонується сім термів у діапазоні значень $[-1...1]$ м/с.

Для вихідної змінної «Кут перекладки керма» також пропонується сім термів у діапазоні значень $[-20...20]$ градусів.

Ці правила можна описати матрицею, значення якої задані в табл. 1. Рядки матриці відповідають вхідній змінній «Відхилення». Столпці матриці відповідають вхідній змінній «Кутова швидкість». Значення на перехресті рядків і столпців визначають значення вихідної змінної «Кут перекладки керма» й відповідають правилам.

Таблиця 1

		Кутова швидкість						
		НВ	НС	НМ	НУЛЬ	ПМ	ПС	ПБ
Відхилення	НВ	НУЛЬ	НМ	НС	НВ	НВ	НВ	НВ
	НС	ПМ	НУЛЬ	НМ	НС	НВ	НВ	НВ
	НМ	ПС	ПМ	НУЛЬ	НМ	НС	НВ	НВ
	НУЛЬ	ПБ	ПС	ПМ	НУЛЬ	НМ	НС	НВ
	ПМ	ПБ	ПБ	ПС	ПМ	НУЛЬ	НМ	НС
	ПС	ПБ	ПБ	ПБ	ПС	ПМ	НУЛЬ	НМ
	ПБ	ПБ	ПБ	ПБ	ПБ	ПС	ПМ	НУЛЬ

Для дослідження ефективності роботи розроблених алгоритмів системи керування маломірного судна розроблено моделюючий комплекс, що базується на трьох основних програмних продуктах:

- програмах роботи, що реалізують алгоритми, авторульового з нечітким регулятором [2];
- програмі моделювання інтегрованої системи орієнтації й навігації ICON;
- програмному комплексу CoTMACS-AP для моделювання руху судна та випробування й налагодження авторульових розробленому ЗАТ «НАВИС».

Програма CoTMACS-AP у якості вихідних параметрів видає: поточний курс k_t , поточний заданий курс k_s , поточну кутову швидкість ω_z , поточну лінійну швидкість V_x , бічне відхилення η , координати судна – широту φ , довготу λ , крок за часом T , а вхідним параметром є поточний кут перекидки керма α , сформований моделлю авторульового. Для спільної роботи розроблених програм керування рухом судна із програмою CoTMACS-AP використовується додаткова бібліотека (файл із розширенням dll), а передача даних здійснюється через інтерфейс зв'язку (сигнатура, написана мовою Сі. Інформація про рух судна записується у файл даних DataAp і потім обробляється програмою, в MATLAB [3].

Завдання дослідження ефективності авторульового при стабілізації маломірного судна на курсі полягає в порівнянні ефективності управління судном при стабілізації його на курсі для випадків використання звичайного ПІД-регулятора і розробленого і описаного вище нечіткого регулятора. Критеріями оцінки були точність утримання на курсі і число перекидань керма.

В якості зовнішніх збурень прийнято хвилювання 5 балів (висота хвилі - до 3 метрів) при курсовому куті хвилі 45° , 90° , 135° .

В результаті моделювання отримані графіки відхилення від курсу ψ і кута перекидки керма α при русі судна на заданому курсі (рис. 2 – 4). Графіки, зображені жирною лінією, відповідають управлінню з використанням нечіткого регулятора, а тонкою – з використанням ПІД-регулятора. Отримано математичне очікування і дисперсія відхилення від курсу і перекидки керма, максимальні значення кута перекидки і числа перекидань для досліджених режимів руху (табл. 2). Дані в чисельнику відповідають використанню нечіткого регулятора, а в знаменнику – ПІД-регулятора.

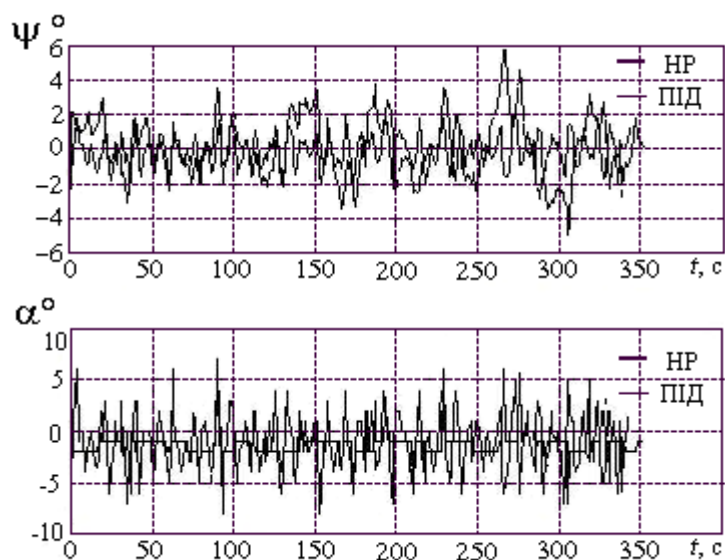


Рис. 2. Відхилення від заданого курсу і кут перекидки керма при курсовому куті хвилі 45°

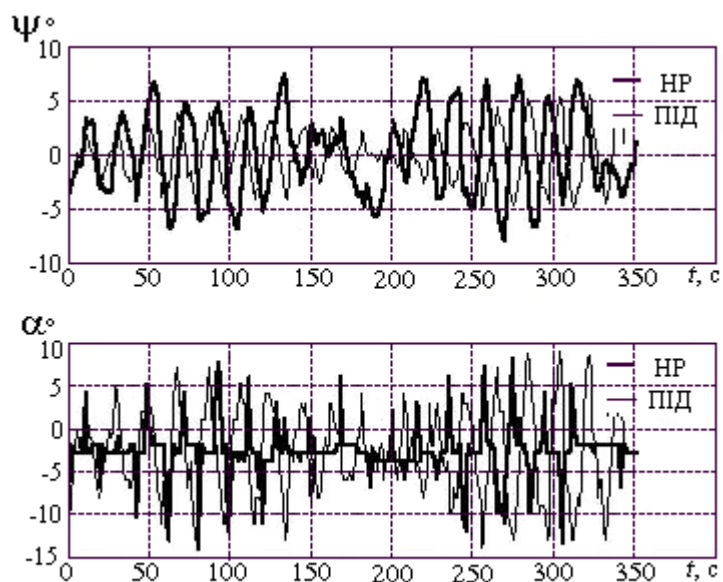


Рис. 3. Відхилення від заданого курсу і кут перекладки керма при курсовому куті хвилі 90°

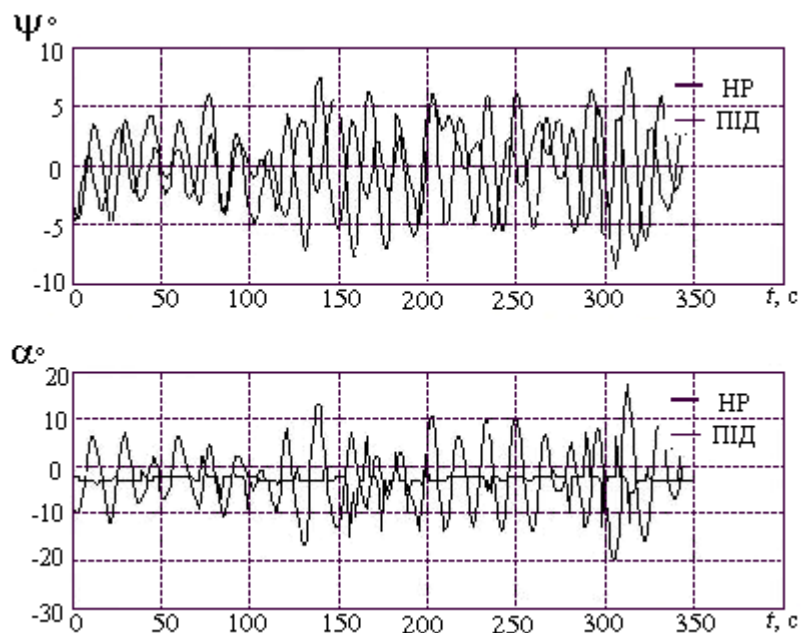


Рис. 4. Відхилення від заданого курсу і кут перекладки керма при курсовому куті хвилі 135°

Відхилення від заданого курсу і кути перекладки керма при управлінні нечітким регулятором і ПІД-регулятором представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

	МО		D		Max (α)	N
	ψ	α	ψ	α		
45°	0,05	-1,3	1,85	1,45	7	150
	—	—	—	—	—	—
90°	0,08	-1,1	0,96	2,64	8	480
	—	—	—	—	—	—
135°	-0,05	-2,81	3,75	3,08	15	150
	—	—	—	—	—	—
180°	-0,18	-2,74	2,4	5,20	15	230
	—	—	—	—	—	—

135°	0,05 — -0,25	-2,69 — -2,62	3,44 — 3,88	2,22 — 7,22	15 — 21	110 — 230
------	--------------------	---------------------	-------------------	-------------------	---------------	-----------------

Результати досліджень дозволяють зробити наступні висновки:

1. Середнє відхилення від курсу (математичне очікування) при використанні нечіткого регулятора в 1,5...3 разів менше, ніж при використанні ПІД-регулятора і залежить від кута зустрічі з хвилюванням.
2. Середні і максимальні значення кутів перекладки пера керма приблизно рівні для обох типів регуляторів.
3. Число перекладань керма при використанні нечіткого регулятора в 2...3 рази менше ніж при використанні ПІД-регулятора.

Таким чином, використання розробленого нечіткого регулятора дозволяє забезпечити більшу точність утримання судна на курсі при меншій кількості перекладань керма, та підвищити ефективність управління рухом судна.

Список використаних джерел

1. Мелихов, А.Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой [Текст] / А.Н. Мелихов, Л.С. Бернштейн, С.Я. Коровин // М.: Наука, 1990.
2. Фан Ван Ван. Удосконалення системи керування рухом маломірного судна при стабілізації на траєкторії. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Львів, 2003 р.
3. Дьяконов В.А. Математические пакеты расширения MATLAB [Текст] / В. А. Дьяконов, В. В. Круглов // специальный справочник – СПб.: Питер, 2001. – 480 с.

УДК 629.5

Сімченко Ю. О., магістрант.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНИМИ ЗАСОБАМИ СУДНА

В даний час основною тенденцією у світовому суднобудуванні в частині оснащення судів системами управління є комплексна автоматизація судна як єдиного об'єкта, тобто створення так званих автоматизованих систем управління технологічними засобами (АСУ ТЗ). Впровадження подібних інтегрованих систем управління і контролю дозволяє різко, практично вдвічі, скоротити чисельність екіпажу (скорочення запасів прісної води і провізії) а так само при конструюванні призводить до зменшення кількості житлових кают, обсягу цистерн запасу прісної води, скоротити обсяг приміщень провізійних коморах, а відповідно коштів на утримання екіпажу. Забезпечується управління судном на звичайних, штатних ходових режимах однією людиною з рульової рубки. При цьому, підвищується безпека плавання, в тому числі екологічна безпека, за рахунок автоматизації режимів маневрування (зменшення витрат палива), розходження суден, за рахунок вибору оптимальних маршрутів і режимів руху тощо. Коло завдань, що вирішуються АСУ ТЗ судна, надзвичайно широкий і різноманітний. Склад конкретної АСУ ТЗ визначається насамперед типом і цільовим призначенням судна, класом його автоматизації і спеціальними вимогами замовника (в т.ч. необхідність відповідності вимогам певних класифікаційним товариств і міжнародним морських конвенцій) [1].

Комплексні системи управління та інтегровані системи управління (ІСУ ТЗ) третього покоління виконані на базі комп'ютерів чи програмованих логічних контролерів (PLC):

- комп'ютерні системи, призначені для контролю і керування механізмами і пристроями відповідального призначення, що забезпечують разом із іншими системами автоматизації, експлуатацію механічної установки судна без постійної присутності обслуговуючого персоналу в машинних приміщеннях. Суднам, які обладнані такими системами автоматизації, може бути присвоєний один із наступних знаків автоматизації у символі класу: а) AUT1 – С, AUT2 – С чи AUT3 – С – якщо автоматизація механічної установки виконана на базі комп'ютерів чи програмованих логічних контролерів (PLC); б) AUT1 – ICS, AUT2 – ICS чи AUT3 – ICS – якщо комп'ютерні системи об'єднані мережею у єдину інтегровану систему.

Вершиною сучасних навігаційних і комп'ютерних технологій стало створення електронного довідника сучасного судна – електронної картографічної навігаційної інформаційної системи ЕКНІС (ECDIS – Electronic Chart Display and Information System). ЕКНІС здійснює відображення карт і місця судна, дозволяє вести прокладку траси руху і здійснювати контроль відхилень від заданого маршруту, здійснює обчислення безпечних курсів, попередження судноводія про небезпеку, ведення судового журналу, управління авторульовим і т.п.

ЕКНІС є виключно ефективним засобом інформації в навігації, істотно скорочують навантаження на вахтового помічника і дозволяє приділяти максимум часу спостереження за навколишнім оточенням і виробленні обґрунтованих рішень з управління судном.

Все різноманіття існуючих електронних картографічних систем прийнято ділити на три групи: ECDIS – електронні картографічні навігаційні інформаційні системи; ECS – електронні картографічні системи; RCDS – растрові картографічні дисплейні системи.

Міжнародною морською організацією офіційно визнаються лише ECDIS. Мається на увазі, що з юридичної точки зору ECDIS є еквівалентом сучасних паперових навігаційних карт в рамках вимог Правила V / 20 Конвенції SOLAS. Інформаційний характер ECDIS означає її здатність надавати судноводій на його запит характеристики і параметри картографічних об'єктів, таких, як орієнтири, небезпеки, небезпечні ізобати, заборонені і обмежені для плавання райони, а також дані про умови плавання по всьому маршруту слідування судна і т. д.

Навігаційний характер визначається як традиційними завданнями ECDIS (попередня і виконавча прокладка, корекція поточного місця), так і новими завданнями по оцінці навігаційної безпеки плавання, коректури електронних карт, організації подачі завчасної сигналізації і т. д.

ECDIS відображає на екрані дисплея точні картографічні дані морської карти в реальному часі, поєднанні з поточним місцем судна, отриманим від DGPS, GPS. Система обробляє і представляє інформацію і від інших навігаційних датчиків, наприклад гірокомпас, лага, ехолота, РЛС, ЗАРП. На рисунку 1. показані основні елементи ECDIS [2]. Пропонується встановлення на буксир інтегрованої системи керування навігаційними та загальними засобами судна, з можливістю керування з однієї точки доступу.

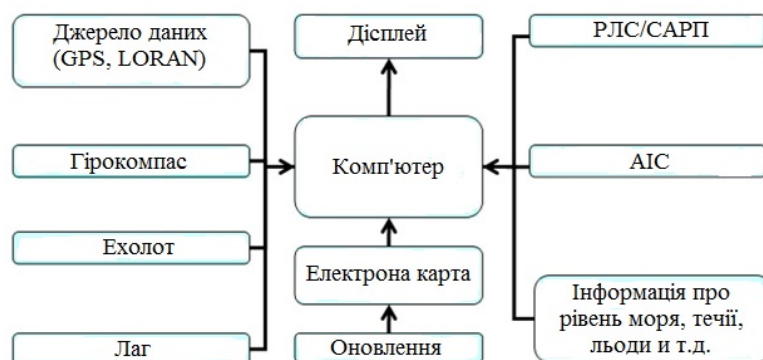


Рис. 1. Основні елементи ECDIS

В таблиці 1 представлені загальні характеристики судна

Таблиця 1

Довжина найбільша, м	30.87
Довжина класифікаційна, м	28.10
Ширина, м	11.60
Висота борту, м	5.45
Осадка по КВЛ, м	3.95
Водотоннажність, т	733
Потужність ГД, кВт	2x1500
Тягове зусилля, т	50
Швидкість, вузол.	12.50
число місць	8

Було розроблено склад і структуру ІСУ ТЗ які пропонується для модернізації буксиру «Панда»:

– Пропульсивна установка, що складається з двох головних двигунів і двох вінторулевих колонок і штатної системи управління,

– Суднова електростанція і дизель – генераторов, вибір кількості і потужності дизель – генераторів, режими їх роботи і алгоритми управління зроблені на підставі розрахунку необхідної потужності суднової електростанції і розрахунок площі перетину кабелів вимог Правил РУ

– Два компресора стиснутого повітря і розроблених для них алгоритмів управління відповідно до вимог Правил РУ до системи стисненого повітря для автоматизованих судів

– Насоси суднових систем (насосів охолодження ГД і ГРК, насосів паливних і масляних, осушительно- баластних і пожежних насосів і інших) і алгоритмів їх управління розроблених на підставі роботи однойменних суднових систем

– Автоматизована осушувальна установка МВ і розроблених для них алгоритмів управління відповідно до вимог Правил РУ і судновий системою осушення МВ

Крім перерахованих вище суднових систем і механізмів ІСУ ТЗ здійснює контроль рівнів в цистернах і сигналізацію про наявність води в льялах і стічних колодязях, і сигналізацію про роботу і несправності локальних систем управління окремими судновими механізмами і системами

Розроблена структурна схема ІСУ ТЗ (рис. 2) і система в цілому, відрізняється від КСУ ТС аналогічного буксира, тим що такі системи як ДАУ ГД – ВРК, система управління судновий електростанцією, система управління компресорами стисненого повітря, управління окремими судновими насосами інтегровані в єдину систему ІСУ ТЗ за допомогою інтерфейсних зв'язків (наприклад для ДАУ ГД – ВРК або системи управління суднової електростанцією, блоки управління якої є серійними і вбудований в ГРЩ, що дозволяє працювати електростанції в автономному режимі управління при виході з ладу ІСУ ТЗ) або програмуванням алгоритмів управління окремими механізмами (наприклад насосами або автоматичним осушенням МО) на PLC системи ІСУ ТЗ.

Система ІСУ ТЗ дозволяє контролювати роботу і виконувати необхідні (передбачені проектом) функції управління судновими механізмами і системами з екрану кожного панельного комп'ютера встановленого в рульовій рубці в пульті судноводіння (всього 2 шт.) Або з панельного комп'ютера встановленого в пом. МВ (1 шт.).

Для виконання операцій з управління судном при застосуванні ІСУ ТЗ достатньо однієї людини на вахті.

Також передбачена видача узагальненої аварійно – попереджувальної сигналізації в каюту старшого механіка, в офіс і салон / їдальню на Панелі узагальненої сигналізації БУС в разі якщо спрацювала АПС НЕ квітірована вахтовим в рульовій рубці або пом. МВ, рис. 2, [3].

За результатами виконаної роботи можна зробити наступні висновки:

Розроблена інтегрована комп'ютеризована система управління технічними засобами, яка дозволяє виконувати управління та здійснювати контроль технічними засобами судна з дисплеїв розташованих в головному посту управління в рульовій рубці або з дисплея розташованого в пульті ЦПУ МО відкритого типу. Інтегрована система управління має модульну ієрархічну структуру забезпечує безпечного і надійне Функціонування керованого обладнання.

Інтегрована система управління технічними засобами (ІСУ ТЗ) забезпечує оптимізацію режимів експлуатації суден, підвищення надійності управління технічними засобами судна, зменшення кількості обслуговуючого персоналу і поліпшення умов праці обслуговуючого персоналу. Впровадження подібних інтегрованих систем управління і контролю дозволяє різко, практично вдвічі, скоротити кількість екіпажу (скорочення запасів прісної води и провізії) а так само при конструюванні виробляти зменшену кількість житлових кают, обсяги цистерн запасу прісної води, скоротити обсяги приміщень провізійних комор, а відповідно і коштів на утримання екіпажу.

Список використаних джерел

1. Дмитрієв, В. І. Навігація і лоція. [Текст] / Підручник для вузів // В. І.Дмитрієв, В. Л.Григорян, В. А.Катенін; Під ред. В. І. Дмитрієва. – Москва «Академкнига», 2004, 471 с.
2. Вагущенко, Л. Л. Системи автоматичного керування рухом судна. [Текст] / Вагущенко Л.Л., Цимбал М.М. – 3-є вид., перероб. і доп. – Одеса: Фенікс, 2007, 328 с.
3. Блінцов, С. В. Електронна картографічна навігаційно-інформаційна система. [Текст] / Навчальний посібник. Блінцов С.В., Клименко П.Г. - Миколаїв, 2008, 70 с.

ИСУ ТЗ на АПС буксира "Панда"

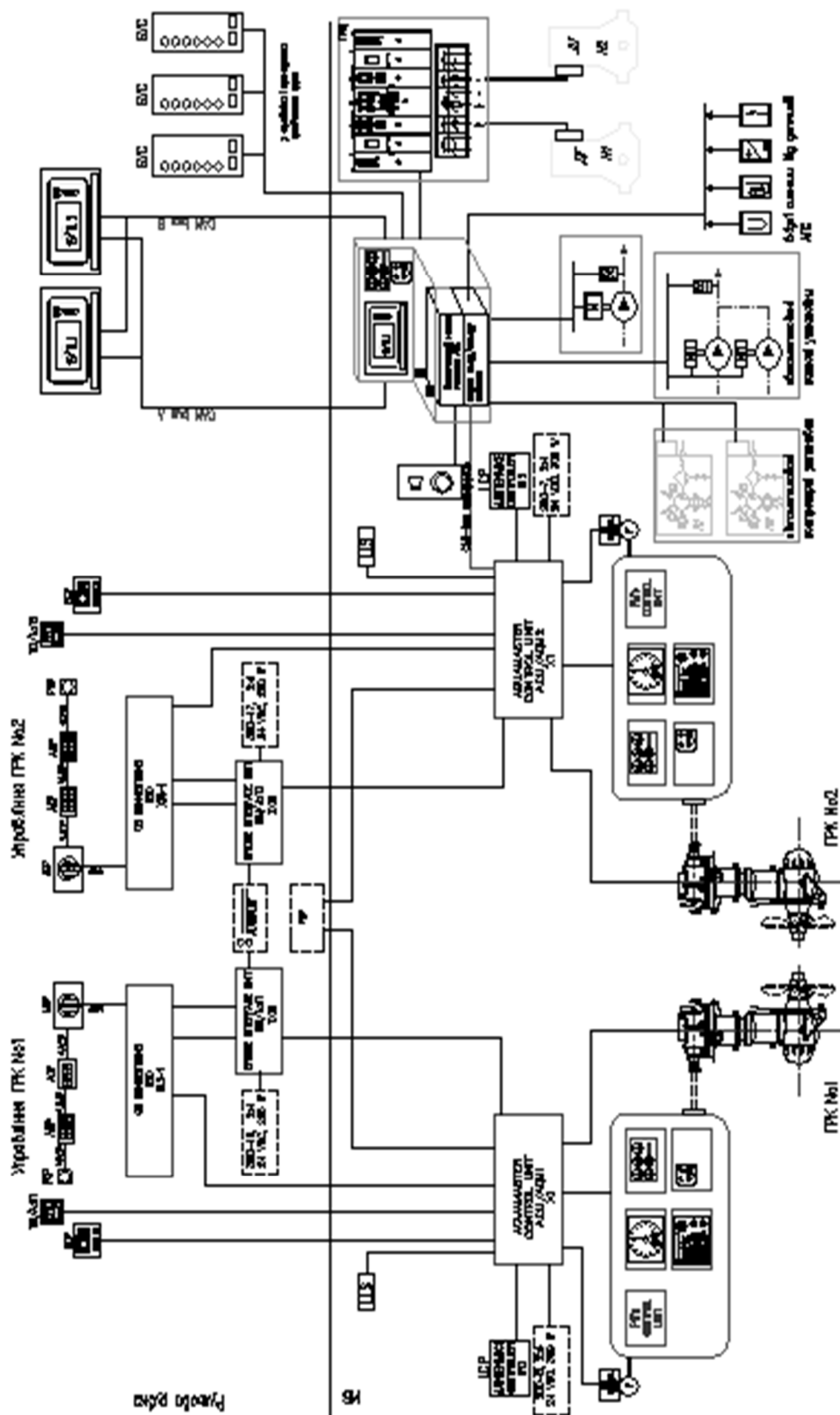


Рис. 2.

СЕКЦІЯ 5. ІМПУЛЬСНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 622.24:537.528

Омелян А. І., Сизоненко О. М., д.т.н.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ РОЗРЯДІВ НА ВЛАСТИВОСТІ СУМІШІ ПОРОШКІВ Fe-Ti-B₄C

Більшість галузей виробництва, у зв'язку з їх активним розвитком, потребують нових високоякісних матеріалів. До цього класу матеріалів відносяться карбідосталі – композиційні матеріали, які отримують із застосуванням методів порошкової металургії і складаються з карбідів та металевої зв'язки, як правило, з легуваних або вуглецевих сталей.

Традиційні технологічні методи виробництва заготовок або виробів з карбідосталей передбачають операції сумісного подрібнення та активації порошоків карбиду і сталевий зв'язки, пресування заготовок і їх подальше спікання при температурах, що забезпечують наявність значної кількості рідкої фази (для забезпечення необхідного ступеню усадки заготовок). Однак диспергування за допомогою традиційних методів має суттєві недоліки, серед яких окремо слід відзначити високе забруднення порошку інструментальним матеріалом та окислення частинок порошку, що значно погіршує основні механічні та експлуатаційні характеристики матеріалу, що спікається з таких порошоків. Крім того, цим методам притаманна висока енергоємність.

Унікальним комплексним методом виготовлення вихідної сировини для карбідосталей є електророзрядне диспергування. Електророзрядний метод зміни структури, форми і розміру частинок різних композиційних матеріалів заснований на використанні високовольтного імпульсного електричного розряду в рідині [1].

Однак, аналіз відомих робіт по дослідженню процесів твердофазної взаємодії у металічних порошках при високовольтних електричних розрядах показав, що вони не розкривають достатньою мірою зв'язок між параметрами дії (законом введення енергії, гідродинамічними і енергетичними характеристиками розряду, складом робочої рідини тощо) і зміною морфологічних властивостей порошоків і їх фазового складу, що дозволило б визначити необхідні режими обробки і в перспективі створити рекомендації до створення електророзрядної технології отримання порошоків для виробництва карбідосталей. Виникає необхідність у дослідженнях електророзрядного впливу на суміш порошоків металів з точки зору зниження середнього діаметра часток і зміною їх фазового складу для створення композиційних матеріалів з підвищеними фізико-механічними властивостями.

Електророзрядний метод зміни структури, форми і розміру частинок різних матеріалів заснований на використанні високовольтного імпульсного електричного розряду в рідині. По суті, ЕР у рідині – це електричний вибух, що характеризується швидким виділенням енергії, – протягом мікросекунд, у початково малому об'ємі каналу розряду, прокладеного стримером, що з'явився під дією високого електричного потенціалу між електродами. ЕР дозволяє отримувати щільну низькотемпературну плазму, температура якої досягає $5 \cdot 10^4$ К. У результаті високої концентрації енергії високий тиск і температура, що розвиваються в каналі, призводять до швидкого (від 500 до 2000 м/с) розширення каналу і виникнення ударних хвиль, які трансформуються в акустичні з широким спектром частот, потужними гідропотоками, кавітацією, електромагнітними і термічними полями.

Встановлено вплив ВЕР на закономірності зміни дисперсності та кінетику диспергування суміші порошоків 75 % Fe + 20 % Ti + 5 % B₄C (масова частка) у газі освітлювальному в залежності від швидкості зростання струму, питомої енергії та часу обробки. ЕР обробка при швидкості зростання струму $di/dt \sim 28$ ГА/с, питомої енергії обробки $W_{\text{пум}} \sim 20$ МДж/кг дозволяє отримувати високодисперсну ($d_{\text{ср}} \approx 0,7$ мкм, при тому, що ~ 25 % частинок мають розміри $< 0,3$ мкм, з них ~ 15 % $< 0,1$ мкм) та однорідну шихту для карбідосталей.

Дослідження зміни фазового складу суміші порошоків 75 % Fe + 20 % Ti + 5 % B₄C після ЕР обробки вказує, що у всіх режимах обробки відбувається утворення цементиту Fe₃C, а умовою початку формування таких фаз, як TiC, FeB, Fe₂Ti і Fe₃(B_{0,7}C_{0,3}) є досягнення швидкості наростання струму не менш ~ 17 ГА/с при питомій енергії обробки $W_{\text{пум}} = 20$ МДж/кг.

Висновки. Високовольтний електричний розряд в суміші порошоків Fe-Ti-B₄C дозволяє значно змінити їх дисперсність. Важливим фактором впливу являються інтегральна енергія обробки і тиску в каналі розряду.

Встановлений зв'язок інтегральної енергії обробки та зниженням середнього діаметру частинок мікропорошків. Показано що існує значення інтегральної енергії обробки, до якої залежність зміни дисперсності от інтегральної енергії обробки має монотонно зменшувальний характер.

Використання високовольтного ЕР для диспергування мікро-порошків дозволяє значно знизити, порівняно з другими методами, затрат часу та енергії, необхідної для одержання потрібної дисперсності.

Список використаних джерел

1. Сизоненко. О.Н. Влияние электроразрядного воздействия на композицию порошков Fe-Ts-B4C / О.Н. Сизоненко, Г.А. Баглюк, А.А. Мамонова, Э.И. Тафтай, А.С. Торпаков, А.А. Жданов, А.Д. Зайченко, Е.В. Липян // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник – Луцьк, 2011. – Вип. 31 (червень). – С.333-343.

УДК 669.716.9:621.795.4

Овчинникова Л. Е., к.т.н.; Харченко В. В., студент; Мавродиев А. В., студент

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОВЗРЫВА ПРОВОДНИКОВ ИЗ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ В УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩЕЙ ГАЗООБРАЗНОЙ СРЕДЕ

Электрический взрыв проводников (ЭВП) в углеродсодержащих газообразных средах широко используется для получения карбидов переходных *d*-металлов, являющихся самыми твердыми и тугоплавкими из химических соединений. Поэтому карбиды W и Ti, в частности монокарбиды, применяются для получения износостойких коррозионноустойчивых покрытий. Для разработки технологических методов получения карбидов тугоплавких металлов необходимо исследование режимов электрического взрыва проводников.

Электрический взрыв проводников (ЭВП) в углеродсодержащей газообразной среде является комбинированным процессом, в котором диспергирование металла проводника сопровождается высокотемпературным пиролизом органического газа. Образующиеся при этом активные атомы углерода участвуют в образовании химических соединений с металлом проводника. Процесс образования химических соединений в условиях ЭВП ограничивается строго определенным диапазоном термодинамических параметров: давлением, температурой, концентрацией продуктов диссоциации в газообразной фазе, наличием или отсутствием конденсированной фазы – охлажденных продуктов химического синтеза, частиц твердого углерода, остаточных частиц металла. Логично полагать, что наибольшее количество высокодисперсных химических соединений может образовываться именно из газовой среды, в которой скоростная диффузия способствует протеканию химических реакций. В частности, образование карбидных фаз из полностью газообразных компонентов возможно при температурах, несколько превышающих точку кипения материала проводника, которая равна, соответственно, 3300°C для титана и 5555°C для вольфрама. При более высоких температурах возможна одновременная деструкция химических веществ. При более низких температурах, покрывающих диапазон жидкого и твердого состояния проводника, скорости химических реакций малы.

Таким образом, процесс карбидообразования в ходе ЭВП напрямую зависит от режимов взрыва, которые обеспечивают то или иное фазовое состояние продуктов разрушения проводника.

Чтобы перевести взрывающийся проводник в газообразное состояние, необходимо в него ввести электрическую энергию W , которая должна быть равна энергии сублимации W_s , и обеспечивать прохождение последовательных стадий: разогрева металла в интервале температур от комнатной температуры до температуры плавления металла; плавления; разогрева жидкого металла в интервале температур от температуры плавления до температуры кипения; испарения (парообразования).

В настоящее время имеется ряд попыток классифицировать режимы ЭВП. Как правило, за основу берется соотношение времен развития магнитодинамических (МГД) неустойчивостей в жидкой фазе и нарушения механизма электрической проводимости. В свою очередь, это отношение времен определяется скоростью ввода энергии, физическими свойствами и геометрическими размерами проводника. Первая подобная классификация ЭВП была дана У. Чейсом [1]. Он различал медленный режим ЭВП с типичной скоростью ввода энергии в проводник менее 0,1 кДж/г·нс, и в противном случае – быстрый режим. При скорости более 102 кДж/г·нс возникает сверхбыстрый режим (скиновый режим, взрывная абляция). Быстрый ЭВП позволяет ввести в проводник значительно больше энергии W на стадии резистивного нагрева.

Возможность перевода проводника в газообразное состояние зависит не только от условий реализации быстрого взрыва, но и от физических характеристик материала проводника. Изучение динамики взрыва и состояния проводника, его плотности и скорости расширения, которые диагностируются с помощью скоростной фотографии, интерферометрии, лазерного зондирования, рентгеновской радиографии и т. д., дало возможность разделить проводники на 3 группы [2]:

- металлы с высокой удельной электропроводностью (например, Al, Cu, Ag);
- металлы с низкой удельной электропроводностью (например, Fe, Ni);
- тугоплавкие металлы с низкой удельной электропроводностью и низкой энергией эмиссии электронов (Ti, W, Mo).

Отличительной особенностью металлов первой группы являются хорошо изученные, например, в работе [2] режимы взрыва с паузой тока и последующей дуговой стадией протекания тока по продуктам испарения проводника. В такие проводники легко вводится энергия $W > W_S$. Для них легко реализуются так называемые согласованные режимы ЭВП с бесконечной паузой, когда вся энергия конденсатора, за исключением потерь в цепи, расходуется на резистивный нагрев и деструкцию проводника, а дуговая стадия вообще не наступает. Согласованные режимы считаются наиболее эффективными с точки зрения превращения энергии в проводниках и наиболее часто используются для получения методом ЭВП нанопорошков металлов первой группы и их химических соединений.

В металлы третьей группы, куда относятся Ti и W, крайне сложно ввести энергию $W > W_S$, достаточную для испарения проводника, так как в силу развитой электронной эмиссии с поверхности проводника дуговая стадия начинает развиваться, когда он находится еще в твердом состоянии. И поскольку ток течет по поверхностным парам, резистивный нагрев сердцевинки прекращается, а дальнейший процесс испарения полностью контролируется взаимодействием горячей дуги с более холодным ядром проводника.

Эксперименты, выполненные на вольфрамовых проводниках, так же показали, что электрически взрывающийся проводник обычно становится двухфазным: плотная холодная сердцевина в окружении горячей плазмы. Состояние ядра и его скорость расширения коррелируют с количеством энергии, введенной во время фазы резистивного нагрева. Так, в [3] методами интерферометрии и световой эмиссии установлено, что при малом количестве выделившейся энергии, которой не хватает, чтобы расплавить проводник, сердцевина остается в твердом состоянии или частично распадается. При высоком уровне выделения энергии (больше энергии испарения) сердцевина проводника находится в газоплазменном состоянии, а при промежуточном уровне (больше, чем энергия плавления, но меньше, чем энергия испарения) – распадается на микрокапли горячей жидкости или кластеры субмикронного размера. Эксперименты [4], выполненные на вольфрамовых проволоках, показали, что расширяющееся ядро проводника является однородным, если выделившаяся энергия W составляет более 4 эВ/атом и неоднородным, с неоднородностями масштаба 100-200 мкм, если $W < 4$ эВ/атом. Показано также, что однородно испаряющийся проводник расширяется со скоростью от 0,1 до 1 км/с, а зависимость между осажденной энергией и скоростью расширения в этом случае является линейной функцией.

На качество получаемых карбидов методом ЭВП влияет состав углеродсодержащей среды и условия в разрядной камере [5]. Для увеличения выхода карбидов и получения фаз, более насыщенных углеродом, необходимо повышать давление в разрядной камере или использовать более плотные конденсированные среды, при взрыве в которых концентрация активных реагентов существенно увеличивается.

Выводы. С целью более глубокого изучения физических процессов электрического взрыва проводников, используемого в перспективных технологиях получения износостойких покрытий, проведен анализ последних исследований в области ЭВП по выбору режимов и условий электровзрыва проводников с высоким удельным сопротивлением в углеродсодержащих газообразных средах. Проведен анализ влияния среды, в которой осуществляется ЭВП, на состав получаемых продуктов ЭВП. Рассмотрено влияние режимов электровзрыва проводника в газообразных углеродсодержащих средах на синтез карбидов тугоплавких металлов.

Анализ экспериментальных результатов исследований режимов ЭВП, показал, что для реализации режимов ЭВП с полным однородным испарением рефракторных металлов, каковыми являются W и Ti, необходимо предпринимать специальные дополнительные меры, создавать определенные условия ввода энергии для увеличения количества вводимой энергии в тугоплавкий проводник.

Увеличить количество вводимой в тугоплавкий проводник энергии до взрыва, с целью обеспечения полного однородного испарения, можно путем: увеличения скорости нарастания тока; нанесения на проводник тонких электроизоляционных покрытий или предварительного нагрева проводника; выбора полярности тока; изменения свойств окружающей среды; изменения геометрии проводника.

Среда, в которой осуществляется ЭВП, посредством своей электрической прочности влияет на величину введенной в проводник энергии, а посредством химической активности – на состав получаемых продуктов ЭВП.

Анализ показал, что существует развитая теория и практика электрического взрыва проводников, которую можно использовать при разработке технологических методов получения твердосплавных износостойких наноразмерных материалов и покрытий.

Список использованных источников

1. Chace W.G., Levine M.A. Classification of Wire Explosions. [Text] // Journal of Applied Physics. 1960, 31(7), 1298.
2. Кривицкий Е.В. Динамика электровзрыва в жидкости. [Текст]. - Киев: Наукова думка, 1986.- 206 с.
3. Sarkisov G.S., Sasorov P.V., Struve K.W. State of the metal core in nanosecond exploding wires and related phenomena. [Текст] // Journal of Applied Physics. 2004, 96, 1674–86.
4. Sarkisov G.S., Struve K.W. Effect of deposited energy on the structure of an exploding tungsten wire core in vacuum. [Текст] // Physics of Plasmas. 2005, 12(5), 052702-052709. doi: 10.1063/1.1883180.

5. Debalina B., Kamaraj M., Murthy B., Chakravarthi S., Sarathi R. Generation and characterisation of nano tungsten carbide particle by wire explosion process. [Текст] // Journal of Alloys and Compounds. 2010, 496(1-2), 122–128.

УДК 546.261: 621.3.015.51

Богуцький В. В., Кускова Н. І., д.т.н.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

ЕЛЕКТРОВИБУХОВИЙ СИНТЕЗ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОСТРУКТУР

Неослабний інтерес вчених різних галузей науки до вуглецевих наноматеріалів обумовлений великою різноманітністю фізико-хімічних, оптичних, механічних і електричних властивостей, які проявляються ними. Незважаючи на значну кількість робіт у цій галузі, актуальними залишаються проблеми ефективності цілеспрямованого синтезу вуглецевих наноструктурних матеріалів (ВНМ), отримання наноматеріалів з заданими властивостями і нових ВНМ для застосування в промисловості. Таким чином, актуальність роботи визначається як наукової, так і практичної стороною.

Активні дослідження взаємодії імпульсного струму з графітовими провідниками ведуться протягом останніх десяти років. Пріоритет в розробці даної проблеми належить дослідникам з Інституту імпульсних процесів і технологій (ІІПТ) НАН України. Одне з поставлених завдань спрямовано на вивчення фазових перетворень вуглецю в умовах екстремальних енергетичних впливів [1,2].

Метою роботи є визначення енергоефективності та виходу синтезованих в процесі електровибуху графітових провідників фулеренів.

На основі розвитку теорії процесів взаємодії потужного електророзрядного імпульсу струму з конденсованими речовиною визначено енергетичні і термодинамічні умови структурно-фазових перетворень вуглецю, в результаті яких відбувається синтез різноманітних вуглецевих наноструктур.

Отримано залежності, що визначають фазові і структурно-фазові перетворення речовини в процесі однорідного нагрівання циліндричного провідника потужним імпульсом струму. Розраховано електрофізичні параметри синтезу різноманітних вуглецевих наноструктур, що забезпечують виконання енергетичних і термодинамічних умов структурно-фазових перетворень вуглецю. Проведено експериментальні дослідження електровибухових процесів синтезу вуглецевих наноматеріалів. Побудовано фазові траєкторії вуглецю для різних режимів електровибуху.

Вперше отримано аналітичні вирази, що дозволяють розрахувати електротехнічні параметри, які визначають еволюцію стану речовини, що дозволяє управляти процесом електровибуху графітових провідників.

Діагностику електровибуху здійснювали шляхом осцилографування струмів I і напруг U .

Досліджено електровибухові процеси при швидкостях наростання струму від 10^8 до 10^{11} А / с і термодинамічні умови отримання різних вуглецевих наноматеріалів. Визначено термодинамічний стан вуглецю з урахуванням фазових і структурно-фазових перетворень, в результаті яких відбувається синтез фуллереноподібних наноматеріалів.

В роботі розкрито можливі механізми електричного вибуху та отримано відповідні до них електричні характеристики процесу, визначено необхідний для синтезу фулеренів режим електровибуху.

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дозволили співставити результати моделювання з емпіричними даними. Дослідження отриманих продуктів електровибуху підтвердило наявність фулеренів.

Показано, що розраховані електротехнічні параметри забезпечують реалізацію необхідних для синтезу фулеренів режимів електровибуху графітових провідників.

Експериментально визначено, що вихід фулеренів і фулереноподібних продуктів електровибуху, які розчинні в органічних рідинах, при питомих введеннях у графітові провідники енергій від 10 до 20 МДж/кг не перевищує 30 %.

Список використаних джерел

1. Rud, A.D. Synthesis of Carbon Nanomaterials Using High-Voltage Electric Discharge Techniques / A.D. Rud, N.I. Kuskova, L.I. Ivaschuk, L.Z. Boguslavskii, A.E. Perekos [Text] // Nanomaterials. - InTech. – 2011. – P.P. 211-230.
2. Rud, A.D. Structure state of carbon nanomaterials produced by high-energy electric discharge techniques [Text] / A.D. Rud, N.I. Kuskova, L.I. Ivaschuk, G.M. Zelinskaya, N.M. Biliy // Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures. – 2011. - Vol. 19, No 1. – P. 120-126.

УДК 537.528

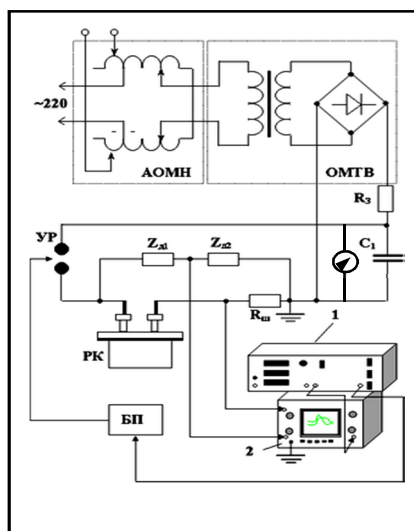
Кускова Наталія Іванівна., д.т.н., Турчин Степан Олександрович.
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ЕЛЕКТРОВИБУХОВИЙ МЕТОД СИНТЕЗУ НАНОАЛМАЗІВ

Дослідження в галузі отримання та знаходження нових областей застосування наноалмазів останнім часом набувають все більшої актуальності. Підвищений інтерес до таких матеріалів обумовлений їх особливими фізико-хімічними властивостями та важливим прикладним значенням. Наноалмази – специфічний нановуглецевий матеріал, що має традиційну для алмазу міцність та стабільність, а також здатність до структурних модифікацій, можливість зміни діелектричної проникності, високу колоїдну стійкість в дисперсійних середовищах, високі адсорбційні властивості. Крім того, наноалмази характеризуються підвищеною каталітичною активністю в органічних реакціях та здатністю до флюоресценції, мають велику питому поверхню. Також матеріали на основі наноалмазів не токсичні, що дає можливість їх широкого застосування в медицині та біології. Надзвичайні властивості наноалмазів знайшли застосування в технології та промисловості. Наприклад, вони можуть бути використані для створення елементів наноелектроніки, каталізаторів, композиційних матеріалів, адсорбентів, для покращення якості мастил та автомобільних масел, гуми. На їх основі створюються полірувальні композиції для обробки різних поверхонь, хром-алмазні зносостійкі покриття для нафтовидобутку. Завдяки високій теплопровідності наноалмази використовують як теплопроводи в радіотехніці. Малі розміри та наявність поверхневих груп дозволяють застосовувати ультрадисперсні алмази в медичних та біологічних дослідженнях. Наноалмази є перспективним матеріалом завдяки широкому спектру застосування. Але розповсюджене впровадження перешкоджає ряд проблем, які пов'язані з недосконалістю технологій, відсутністю стандартизації та досвіду використання. Науковий пошук в області використання наноалмазів у промисловості та техніці ще невичерпаний, і постійно відкриваються нові сфери його застосування.

У ІПТТ НАН України запропоновано та запатентовано метод електричного вибуху графітових провідників для отримання наноалмазів. Дія потужних імпульсів струму на графітові провідники приводить до структурно-фазових перетворень графіт → алмаз. Проведені експериментальні дослідження електровибуху графітових провідників і фазового складу продуктів електровибуху показали, що існує кореляція між величинами питомою введеною у провідник енергією w та енергією сублімації графіту w_s ($w_s \approx 60 \text{ МДж/кг}$). При низькоенергетичних режимах електровибуху ($w < w_s$) отримані ВМ містять фулереноподібні кластери ($10 < w < 20 \text{ МДж/кг}$) та нанотрубки ($8 < w < 10 \text{ МДж/кг}$), а при високоенергетичних ($w > 60 \text{ МДж/кг}$) – алмазну фазу

Для дослідження процесів синтезу нановуглецевих матеріалів створено експериментальний стенд, в який входить електроустаткування для високоенергетичної електророзрядної обробки конденсованих матеріалів, що містять вуглець (енергія, що запасється, - 45 кДж, струм - до 1,0 МА, тривалість імпульсу струму - до 50 мкс). Електрична схема стенду представлена на рис.1



1 – генератор імпульсів Г5 – 54 ТУ4.ГВ3.264.029 ТУ;
2 – осцилограф двохпроменевий запам'ятовуючий С8–17 ТУ 4.ГВ2 044.116 ТУ
Рисунок 1 - Електрична схема експериментального стенду

Експериментальні параметри електровибуху графітових провідників в режимах А1 та А2 приведено у таблиці 1.1. Величини швидкостей наростання dl/dt і густини струму j оцінювали у момент фазових переходів, коли струм досягає максимального значення.

Таблиця 1.1 Параметри електровибуху графітових провідників з повторним пробоем без паузи струму

Режим ЕВП	I_{max} кА	dl/dt , 10^{10} А/с	j , 10^{10} А/м ²	w , МДж/кг	dw_b/dt , Дж/(кг·с)
A1	81,0	29,1	2,6	78	$1,43 \cdot 10^{13}$
A2	44,9	5,6	0,88	33	$2,2 \cdot 10^{12}$

В процесі реалізації різних режимів електровибуху відбуваються або плавлення та випаровування провідника, або тільки сублімація твердого графіту. Інтервали значень швидкостей наростання і густини струму, а також відомі величини питомих енергій, дозволили розрахувати для оптимальних розмірів графітових провідників режими електровибуху, у процесі яких можуть бути одержані наноалмази. Реалізація цих режимів дозволила одержати і дослідити ВНМ. Діагностику електровибуху здійснювали шляхом осцилографування струмів I та напруг U . Отримані осцилограми дозволяють оцінити термодинамічні параметри вуглецю в процесі електровибуху. За отриманими осцилограмами для різних режимів електровибуху побудовано часові залежності струму і напруги (рис.2).

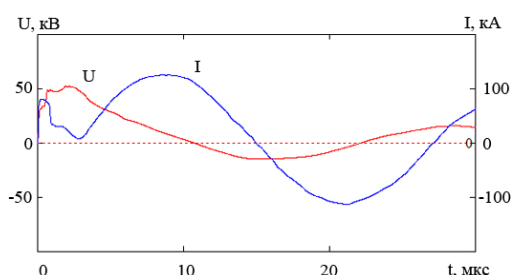
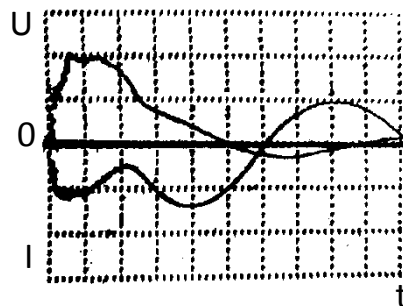


Рис. 2. Часові залежності струму і напруги для режиму ЕВП з пробоем без паузи струму А1

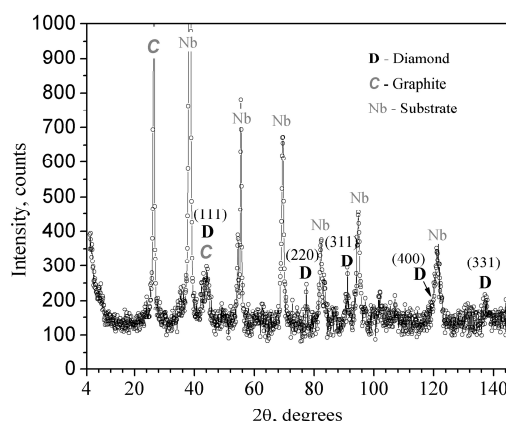
Одержано характерні осцилограми для режиму А2 електровибуху, при якому відбувається плавлення центральної частини і пробій поверхневого шару, що випарувався (рис.3).



$$U_0 = 45 \text{ кВ}, a = 3 \text{ мм}; m_i = 2 \text{ мкс/под}, m_u = 25 \text{ кВ/под}, m_I = 8,7 \text{ кА/под}$$

Рисунок 3 - Осцилограми струму та напруги при електровибуху графітових провідників

Зразок дифракційної картини для матеріалів, які отримано при високоенергетичних режимах електровибуху графітових провідників у різних органічних рідинах, наведено на рис. 4. На рис. 4 добре видно, що разом із дифракційними піками, які властиві високодисперсному графіту (просторова група $P63/mmc$), присутні дифракційні максимуми, що належать кубічному алмазу (просторова група $Fd3m$).



Сu K α -випромінювання, Nb-підкладка, $w = 100$ МДж/кг
Рисунок 4 - Фрагмент дифрактограми продуктів електровибуху

Дані структурних досліджень добре узгоджуються з результатами аналізу ІЧ-спектрів ВНМ (для порівняння одержано також спектр синтетичних ультрадисперсних алмазів).

Висновки. Створено алгоритм, який дозволяє розраховувати імпульсний тиск та температуру для заданого режиму електровибуху графітових провідників. Показано, що розраховані за запропонованими виразами електротехнічні параметри забезпечують реалізацію необхідних для синтезу наноалмазів режимів електровибуху графітових провідників.

Список використаних джерел

1. Oreshkin, V.I., Chaikovskii, S.A., Labetskaya, N.A., (...), Kuskova, N.I., Rud', A.D. Phase transformations of carbon under extreme energy action. – 2013. Surface Engineering and Applied Electrochemistry
2. Kuskova, N.I., Dubovenko, K.V., Petrichenko, S.V., Tsolin, P.L., Chaban, S.O. Electrodischarge technology and equipment to produce new carbon nanomaterials. – 2012. Technical Physics
3. Рыкалин Н.Н., Углов А.А. Воздействие концентрированных потоков энергии на материалы // Воздействие концентрированных потоков энергии на материалы. - М.: Наука. - 1985. - С.5-19.
4. Коваленко В.С. Лазерные технологии. - Киев: Высшая школа, 1989. – 280 с.
5. Milyavskiy V.V., Zhuk A.Z., Khishchenko K.V. Novel Carbon Materials: Possibility of Shock-Wave Synthesis // Defect and Diffusion Forum. – 2002. – Vol.208-209. – P. 161-174.
6. Burgess D.S. Laser ablation generates nanoparticles // Photonics Spectra. – 2001, July 01. – P. 26–29.
7. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Кокора А.Н. Лазерная обработка материалов. - М.: Машиностроение, 1975.-296 с.
8. Рыкалин Н.Н., Зуев И.В., Углов А.А. Основы электронно-лучевой обработки материалов. - М.: Машиностроение, 1978.-236 с.

УДК 537.528:628.32

Петриченко С.В.¹, к.т.н., Рачков О.М.¹, Кравцов Д.С.², Пащенко В.С.²

¹Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, м. Миколаїв

²Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ЕЛЕКТРОІСКРОВОЕ ОЧИЩЕНИЕ ГАЛЬВАНОСТОКОВ ВД ИОНОВ ВАЖКИХ МЕТАЛЛОВ

Наибольш эффективными и разповсюджеными методами очищения стичных вод вД ионов важных металлов є коагуляційні методи. Об'ємний підводний електроіскровий розряд в реакторах з гранульованим металозавантаженням дозволяє отримувати коагуляційно активні оксиди і гідроксиди металів у високодисперсному стані, які спроможні активно адсорбувати домішки іонів важных металлов (забруднювачі) з води. Генерування коагулянтів відбувається з помірними енерговитратами у значних кількостях і є достатньо продуктивним та простим в реалізації. Крім цього, такий розряд супроводжується сукупністю інших супутніх процесів (термоліз, радіоліз, обємна кавітація з інтенсивним газоутворенням та ін.), первинних і вторинних, які, вочевидь, сприяють видаленню забруднювачів з води, оскільки відтворюють дію цілого комплексу механізмів різних методів очищення. Принципову можливість електроіскрового очищення гальваностоків вД ионов важных металлов ($\text{Cr}^{6+} + \text{Cr}^{3+}$, Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} та ін.) підтвер-

джено раніше [1,2]. Наявні відомості переважно стосуються покомпонентного очищення (наприклад, від іонів хрому або нікелю окремо), очищення в області високих концентрацій забруднювачів (близько 1000 мг/дм^3), що не відтворюють промислових умов, або відносяться до реалізації в суто лабораторних умовах і надмалих масштабах щодо досліджуваних об'ємів гальваносток.

Ціллю роботи була оцінка результативності одночасного очищення комплексних по забруднюючим компонентам реальних гальваностоків машинобудівного підприємства з організацією опротоку рідини крізь реактор в залежності від питомої енергії обробки, параметрів розрядного імпульсу і металозавантаження.

Досліджувані гальваностоки після різних операцій гальванічного виробництва багатоконпонентні по забруднювачам (мг/дм^3 : Ni^{2+} – до 6,385; $\text{Cr}^{6+}+\text{Cr}^{3+}$ – до 4,687; Zn^{2+} – до 0,26; Cu^{2+} – до 5,28; $\text{Fe}(\Sigma)$ – до 1,375; колір – жовтуватий), відібрані з очисних споруд ДП "НВКГ "Зоря"-Машпроект", Україна. Хімічний аналіз проб гальваносток, до і після обробки за різними умовами, проводився на договірній основі хіміко-біологічною лабораторією Миколаївського національного університету імені В.О. Сухомлинського, Україна. Використовувалися металозавантаження у виді суміші гранул алюмінію і заліза (рис. 1, поз.2) і проточний реактор (рис. 1, поз.1) прямокутної форми (діелектричний матеріал) з плоскими сталевими електродами на протилежних сторонах, оснащений насосом (рис. 1, поз. 3). Для експериментів реалізовано двотактну електричну схему (заряд/розряд (рис. 1) з тиристорними комутаторами (VT_1, VT_2), керованими двома зв'язаними по виходу/входу синхронізації генераторами імпульсів (Γ_1, Γ_2) із застосуванням розділних імпульсних трансформаторів (IT_1, IT_2). Зарядка ємнісного накопичувача (C – від 10 до 120 мкФ) здійснювалася через зарядний резистор (R_3) від формувача постійної напруги (ФПН – до 600 В). В розрядний контур додатково до власної індуктивності (L_{PK}) в якості варійованого параметра вводилася секціонована котушка (L_D – до 55 мкГн) для змінення тривалості розрядного імпульсу (τ_i). Розрядний струм і напруга на міжелектродному проміжку (навантаженні – R_H) реєструвалися осцилографом (ЕО) по сигналам з відповідних датчиків ($R_{ш}, R_{д1}/R_{д2}$). Досліджувані діапазони питомих енергій (W_H , параметрів імпульсів (введена енергія – $W_i=(0,8\div 0,85)C\cdot U^2/2$ та тривалість) і склад металозавантаження вибрані на підставі результатів робіт [2-4].

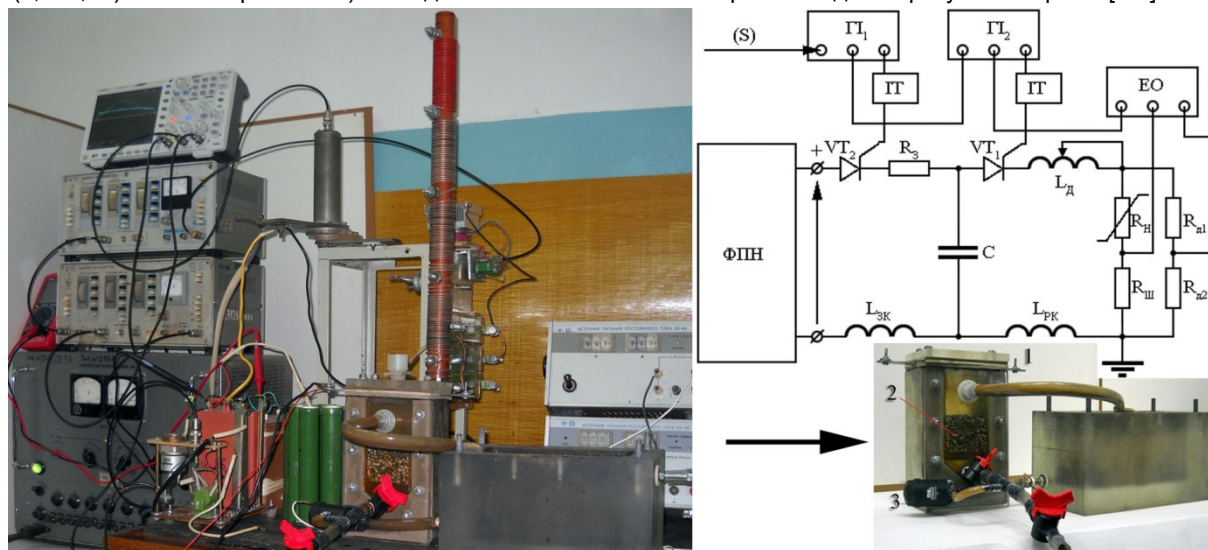


Рис. 1.

Фактичні дані (табл. 1) доводять, що досяжний ступінь очищення гальваносток електроіскровим способом із застосуванням комбінованого металозавантаження і низьковольтного генератора розрядних імпульсів при помірних концентраціях забруднювачів, по вмісту іонів важких металів (Ni^{2+} , Zn^{2+} , $\text{Cr}^{6+}+\text{Cr}^{3+}$, Cu^{2+} , $\text{Fe}(\Sigma)$), вищий, іноді на декілька порядків, ніж того вимагають норми гранично допустимих концентрацій (ГДК) по скиданню в каналізацію розвинутих країн Світу (табл. 2). Очищення носить комплексний характер по всім забруднювачам. Порогових значень не виявлено.

Таблиця 1

Параметр варіювання	Значення параметра	Концентрація іонів важких металів, мг/дм ³				pH	Колір
		Ni ²⁺	Zn ²⁺	Cr ⁶⁺ +Cr ³⁺	Cu ²⁺		
Вплив питомої енергії обробки на ступінь очищення гальваносток при τ≈40 мкс і W _i =4,5 Дж							
Питома енергія, кДж/дм ³	130	0,03	0	0,0002	0,003	7,336	—
	65	0,05	0,028	0,0023	0,01	8,189	—
Вплив тривалості імпульсу на ступінь очищення гальваносток при W _i = 4,5 Дж і W _п = 130 КДж/дм ³							

Тривалість імпульсу, мкс	38	0,02	0	0,0002	0,003	7,335	–
	200	0,02	0	0,0002	0,003	7,330	–
Вплив енергії в імпульсі на ступінь очищення гальваносток при $W_{\Pi}=130 \text{ КДж/дм}^3$ і $\tau_{\approx 40} \text{ мкс}$							
Енергія в імпульсі, Дж	4,5	0,03	0	0,0002	0,003	7,336	–
	5,5	0,025	0,042	0,0017	0,005	7,964	–
Вплив висоти метало завантаження на ступінь очищення гальваносток при $W_{\Pi}=130 \text{ Дж/дм}^3$, $\tau_{\approx 40} \text{ мкс}$ і $W_I=4,5 \text{ Дж}$							
Висота метало завантаження	h	0,03	0	0,0002	0,003	7,336	–
	h/2	0,146	0,15	0,0026	0,015	7,842	–

Таблиця 2

Місто та/або країна (союз)	Ni^{2+} , мг/дм ³	Zn^{2+} , мг/дм ³	Хром, мг/дм ³	Cu^{2+} , мг/дм ³	$\text{Fe} (\Sigma)$, мг/дм ³
США	2,38	1,48	- (Cr^{3+})	2,07	-
Європейський союз	0,5	0,5	0,5 (Cr^{3+})	0,5	-
Австрія	0,5	2,0	0,5 (Cr^{3+})	0,5	-
Німеччина	0,5	2,0	- (Cr^{3+})	0,5	3,0
Москва, РФ	0,5	2,0	1,0 (Cr^{3+})	0,5	3,0
Мінськ, Білорусь	0,44	5,0	2,5 (Cr^{3+})	1,0	3,3

В роботі показано, що основний вплив на ступінь очищення гальваносток, при коректному виборі параметрів розрядного імпульсу, мають питома енергія обробки, що для помірних концентрацій забруднювачів може бути меншою за 65 КДж/дм^3 , та висота шару гранул при горизонтальній схемі реалізації потоку рідини. Інші варіювані величини є або інструментом масштабування процесів очищення, або ж засобами регулювання режимів роботи електрообладнання. Встановлено, що зі збільшенням вихідних концентрацій забруднювачів питома енергія (до вмісту забруднювача) зменшується (на порядки у порівнянні з надмалими концентраціями).

Сформульовані прогнози по питомим енерговитратам для повного (нижче норм ГДК) одночасного видалення всіх наявних компонентів забруднювача і співвідношенню максимального об'єму води, що може бути ефективно оброблено впродовж години до робочого об'єму реактора ($<18 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^3$ та $1,2 \text{ м}^3/\text{г}\cdot\text{дм}^3$, відповідно) є перспективними для початку розробки технологічних процесів і створення пілотного зразка електроустановки з очищення реальних гальваностоків машинобудівного підприємства.

Висновки. Результати роботи свідчать, що проточна очистка гальваносток нижче норм гранично допустимих концентрацій по забруднювачам IV групи електроіскровим способом із застосуванням гранульованого комбінованого метало завантаження і низьковольтного (до 1000 В) джерела розрядних імпульсів струму можлива, зручна з позиції технологічної реалізації, високоефективна по ступеню очищення і комплексності дії на всі забруднювачі, що містяться в наданих підприємством зразках гальваностоків.

Список використаних джерел

1. Левченко, В.Ф. Электроимпульсный метод комплексной переработки материалов [Текст] / В.Ф. Левченко // Проблемы машиностроения. – 1992. – Вып. 38. – С. 78 – 86.
2. Хайнацкий, С.А. Исследования комплексной очистки воды от ионов тяжелых металлов при высоковольтных электрических разрядах в реакторах с гранулированной металлозагрузкой. Часть 2. Реальные гальваностоки [Текст] / С.А. Хайнацкий, А.А. Зубенко, А.А. Смалько, В.А. Крещенко, В.Л. Коваленко // Электронная обработка материалов. – 2005. – № 6. – С. 53–58.
3. Щерба, А.А. Динамические процессы в электроразрядных установках [Текст] / А.А. Щерба, Н.И. Супруновская, С.В. Петриченко. – Киев: Про Формат, 2017. – 459 с.
4. Филатова, Е.Г. Интенсификация электрокоагуляционного метода очистки сточных вод гальванического производства / Е.Г. Филатова, А.А. Соболева // Международный научно-исследовательский журнал. – 2012. – Вип. 5(5). – С. 127–128. – URL: <http://dx.doi.org/10.18454/IJRJ.2227-6017>.

СЕКЦІЯ 6. АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА

УДК 004.056

Козирев С. С., к.т.н., доцент; Бесєдовський О. С., студент

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

ПРОГРАМНИЙ ЗАХИСТ ВЕБ-САЙТІВ ВІД НЕСАНКЦІОНОВАНОЇ МОДИФІКАЦІЇ

На сьогоднішній день жоден сучасний сайт не може обійтися без системи управління, яка включає в себе функції захисту інформаційного наповнення проекту. Це особливо актуально для сайтів з розгалуженою структурою і великою кількістю даних. Дуже часто виникає необхідність доопрацювання функцій системи управління динамічними веб-сайтами, що знаходяться в стадії вдосконалення і не містять в стандартній версії функцій захисту [1].

Безпека веб-ресурсів – є одним з найбільш гострих питань в контексті інформаційної безпеки. Як правило більшість сайтів, доступних в Інтернеті, мають різного роду вразливості і постійно піддаються атакам.

Основні типи загроз для інформаційної безпеки веб-додатків (сайтів): загрози конфіденційності - несанкціонований доступ до даних; загрози цілісності - несанкціоноване спотворення або знищення даних; загрози доступності - обмеження або блокування доступу до даних.

Основним джерелом загроз для інформаційної безпеки сайтів є зовнішні порушники. Зовнішній порушник - особа, що мотивована, як правило, комерційним інтересом, має можливість доступу до сайту. Основною загрозою безпеці сайту є хакерська атака. Вона може мати кінцеву мету, тобто бути цільовою атакою, або носити безсистемний характер. У першому випадку зловмисник може виявляти максимально можливу кількість векторів атаки для складання та реалізації потенційно успішних сценаріїв злому, у другому ж об'єкти атакують масово, зазвичай використовують кілька поверхневих вразливостей.

Вразливості сайтів, як правило, призводять до виконання коду на віддаленому сервері з використанням даних, що передаються користувачем при обробці запитів. Якщо при розробці сайту не враховуються вимоги безпеки, зловмисник отримує можливість модифікувати команди, що призводить до порушення роботи сайту. До такого роду вразливостей відносяться, наприклад, SQL-injection [2].

Існують апаратні і програмні методи захисту веб-сайтів від хакерських атак. Існуючі програмні методи захисту як правило використовують антивірусні програми, що працюють з базою вірусів, які вже функціонують в мережах та заразили багатьох користувачів. Такі програми не в змозі захистити інформацію веб-сайту від нових шкідливих програм, які запускаються вперше. У більшості випадків на сайтах не використовуються спеціальні засоби виявлення, моніторингу та захисту від хакерських атак, тому що такі програми є дорогі. Тому актуальним є створення цільових авторських програм захисту для конкретних веб-додатків.

Авторами розроблено програму захисту динамічних веб-сайтів від несанкціонованої модифікації - програма init.php, яка виявляє файли, що були модифіковані, видалені або додані до сайту. Розробка та демонстрація роботи програми здійснювалась на локальному сервері, за допомогою програми OpenServer 5.2.2.

Програма написана на мові php, її файл знаходиться за межами кореню сайту, для захисту від втручання зловмисника. Авторська програма захисту init.php за допомогою рекурсивного пошуку аналізує код веб-сайту, після цього створює аналогічну структуру директорій та файлів в заданому місці та записує файли, які мають назву <оригінальне_ім'я_файлу>.hash та містить в собі хеш оригінального файлу для майбутньої перевірки у вигляді єдиного рядка у файлі – хеш оригіналу. Нижче наведено фрагмент коду програми.

```
// This function scans the files folder recursively
function scan($dir, $backup){

    // Is there actually such a folder/file?
    if(file_exists($dir)){

        foreach(scandir($dir) as $f) {

            if(!$f || $f[0] == '.') {
                continue; // Ignore hidden files
            }
            if(is_dir($dir . '/' . $f)) {

                //It is a folder
                $path = $dir . '/' . $f;
```

```
$path = str_replace(dirname(__DIR__), '', $path);
mkdir($backup . $path, 0777, true);
scan($dir . '/' . $f, $backup);
```

Приклад роботи програми показано на рис. 1. На рис. 2 відображено хеш оригінального файлу, який зберігається при роботі програми, для майбутньої перевірки на модифікацію.

css	04.06.2019 23:13	Папка с файлами	
images	04.06.2019 23:13	Папка с файлами	
js	04.06.2019 23:13	Папка с файлами	
contact.php.hash	04.06.2019 23:16	Файл "HASH"	1 КБ
index.html.hash	04.06.2019 23:13	Файл "HASH"	1 КБ
info.txt.hash	04.06.2019 23:13	Файл "HASH"	1 КБ

Рис. 1. Згенеровані файли

```
1 dce01c5869a4aa3bcf449e56cf73aa13
```

Рис. 2. Хеш файлу index.html.hash

Для автоматичного запуску перевірки файлів веб-сайту на модифікацію розроблено авторську програму hash.php. За допомогою цієї програми звіряється оригінал хеш файлу та створена «копія» програмою init.php. Нижче наведено фрагмент коду програми.

```
$fp = fopen($dir . '/' . $f, "r");
$hashBackup = fread($fp, 32);
fclose($fp);
$backupPath = $dir . '/' . $f;
$realPath = str_replace($folder, '', $backupPath);
$realFile = mb_substr($realPath, 0, mb_strlen($realPath, 'utf8')-5);
```

При перевірці на модифікацію файлів виводиться звіт в файл log.html, який знаходиться в папці program. Результати поточної перевірки доповнюють результати попередніх перевірок. На рис. 3 зображено звіт роботи програми в log.html.

<i>Log.html</i>
[2019-06_04 23:24:10] Файл был обновлен: E:\opensever\OSPanel/domains/onlyone/contact.php
[2019-06_04 23:24:10] Файл был удален: E:\opensever\OSPanel/domains/onlyone/info.txt
[2019-06_04 23:24:10] Файл был добавлен: E:\opensever\OSPanel/domains/onlyone/newfile.txt

Рис. 3. Звіт про модифікацію файлів в log.html

В звіті зберігаються попередні та поточні дані перевірки. Жовтий колір – якщо файл був оновлений, зелений – якщо файл був видалений, а червоний – файл був доданий.

Висновки. Проведено аналіз систем управління динамічними веб-сайтами на предмет забезпечення ними функцій захисту інформаційного контенту. Проаналізовано існуючі вразливості динамічних веб-сайтів, типи та

джерела загроз для інформаційної безпеки веб-додатків. Встановлено, що існуючі програми захисту зазвичай використовують існуючу базу вірусів і не в змозі захистити інформацію веб-сайту від нових шкідливих програм. Проведений аналіз показав, що у багатьох випадках в системах управління сайтами не використовуються спеціальні засоби виявлення, моніторингу та захисту від хакерських атак, тому що такі програми є дороговартісними. Тому актуальним є створення цільових авторських програм захисту окремих веб-додатків (сайтів). Розроблено авторську програму захисту динамічних веб-сайтів від несанкціонованої модифікації, яка виявляє файли, що були модифіковані, видалені або додані до сайту. Програма складається з двох підпрограм. Підпрограма `init.php` за допомогою рекурсивного пошуку аналізує код веб-сайту, створює аналогічну структуру директорій та файлів які містять в собі хеш оригінального файлу для майбутньої перевірки. Підпрограма `hash.php` запускає перевірку файлів веб-сайту на модифікацію, звіряє оригінал хеш файлу й створену «копію» програмою `init.php` та виводить звіт в файл `log.html`. Створена програма забезпечує надійний захист динамічних веб-сайтів від несанкціонованої модифікації, що є найчастішою загрозою безпеці веб-додатків.

Список використаних джерел

1. Билл Скотт Проектирование веб-интерфейсов [Текст] / Билл Скотт, Тереза Нейл. – Из-во «Символ-плюс», 2018. – 352 с.
2. Козлов С. Н. Защита информации [Текст] / С.Н. Козлов. – Из-во «Академический проект», 2018. – 286.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1. АВТОМАТИКА, ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ І ПРИСТРОЇ3

Осуховський В. Ю. Передача інформаційного сигналу по силовим лініям.....3

Смирнов О. Ю., Кошулько В. В. Використання коду хеммінга для виправлення
одиночної помилки5Кисельова А. П. Структура системи цифрової обробки потоку геолокаційних
даних для мобільних пристроїв7Вакуленко В. Р. Використання логічних схем алгоритмів при синтезі цифрового
автомату декодування сигналів з rfid-міток.....9Єрмолов М. В. комп'ютеризована система управління електроприводом подач
фрезерного верстату12Омельянченко Б. А. Комп'ютеризована система управління електроприводом
свердловинного насоса16Шилік М. В. Система автоматичного управління вібраційними пристроями з
електромагнітним приводом17Гачегов С. О. Цифровий безконтактний лічильник довжини витравленого
ланцюга для суднового якірного пристрою18Ізуїта В. О. Розробка альтернативної «розумної» системи керування
освітлювальними пристроями автомобіля.....21

СЕКЦІЯ 2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД.....27

Поліщук О. В., Дробко В. А. Удосконалення насосних станцій для тепло і
водопостачання27

Іванченко В. В. Автоматизація електропривода фрезерного верстата29

Васильєв І. І. Модернізація електропривода головного руху повздовжньо-
стругального верстата.....31

Кравчук В. П. Система керування привода подачі токарного верстата32

Фарзулаєв А. А. Електропривод стрічкового конвеєра з перетворювачем частоти
.....34

Маннов В. Г. Розробка математичної моделі роботи гребного електроприводу36

Оверченко П. В., Новаківський В. В., Ольшевський С. І., Савченко О. В
Використання модуля Arduino при побудові стенда для дослідження
безколекторного електродвигуна постійного струму.....38Дроздов О. І., Савченко О. В., Гараєв К. Р., Фоменко Л. А. Комплектний
електропривод в резонансних установках.....40Ізбаш Л. М. Розробка автоматизованого електропривода установки сепарації
молока42

Лопушнян А. М. Розробка системи керування електропривода зерносушильного агрегату	43
Нагірний В. В. Розробка системи керування електропривода дробарки подрібнення кормів	44
Поворознюк О. С., Кириченко О. С. Порівняльний аналіз термоелектричних елементів з різними габаритними розмірами контактних пластин	45
Савостьянов В. В. Розробка системи керування електропривода паливороздавальної колонки автозаправочної станції	47
Шахнов В. Т. Розробка автоматизованого електропривода установки сушіння зерна	48
Швецов О. Ю., Кириченко О. С. Розробка системи керування електропривода електрокалориферної установки та дослідження теплових процесів в оребрених трубчастих нагрівачах	49
Мельниченко А. С. Інтелектуальна система керування двигуном електроприводу	51
Зайцев О. О. Підвищення ефективності автоматизованого електропривода маслonaсосної станції реакторного відділення аес	54
Карпенко М. В. Підвищення ефективності електропривода головного руху круглошліфувального верстата	55
Сушко В. М. Підвищення ефективності системи керування електропривода шпинделя спеціалізованого фрезерного верстата	56
Марченко О. С. Підвищення ефективності електропривода головного руху різьбофрезерного напівавтомата	57
Семенюк Ю. О. Підвищення ефективності автоматизованого електропривода насоса системи зрошення	58
Кисіль А. В., Савченко О. В., Гараєв К. Р., Фоменко Л. А Бездатчиковий комплектний електропривод	59
Партола Є. О., Савченко О. В., Гараєв К. Р., Фоменко Л. А. Нелінійні адаптивні регулятори в комплектних електроприводах	62
Хуторянський В. О., Куропятник С. А. Багатодвигунний електропривод дифузійного апарата	63
Позивайло А. В. Дослідження ефективності регульованого електропривода насосної установки водопостачання	64
Твердовський О. С. Позиційний електропривод зварювального маніпулятора	65
Косячний Д. Е. Керування кроковими п'єзоелектричними двигунами	66
Бондаренко О. Ю., Матюшин М. С., Сероветник В. І. Модернізація системи керування електропривода насосної установки	67

Кудряхін В. В. Підвищення ефективності резонансного електромагнітного привода вібраційного конвеєра	69
СЕКЦІЯ 3. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ КОМПЛЕКСИ, ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ І АПАРАТИ	
70	
Павлович В. С., Колесниченко Ю. В., Попов Д. В. Определение показателей и структуры целевых функций сравнительного анализа пространственных электромагнитных систем трехфазных трансформаторов.....	70
Охотський В. О. Магнітогідродинамічний рушій.....	71
Солодчук В. В. Електричний реактор з підмагнічуванням	73
Ковальов Д. О, Руденко О. С., Слабодчиков А. А., Супрун В. В. Аналіз способів енергоресурсозбереження в силових трансформаторах	75
Холодков В. О. Удосконалення відцентрового насоса на основі вбудованого електродвигуна	79
Молдован Д. О. Автоматизація проектної процедури обрання необхідного кабеля	83
Дойч С. В., Цюрисов М. Л. Математична модель збудника турбогенератора..	84
Самарський А. О., Спінчевський А. О., Сmachенко В. П., Шкурко П. І. Удосконалення методу постійних навантажень для розрахунку необхідної потужності суднової електростанції.....	86
Ткаченко В. Я., Агейчев М. С., Демчук А. І., Кучеренко М. О. Асинхронізований вентильний двигун.....	88
Шульгін І. Г., Кравченко Д. І., Міщиряков І. В., Першин С. С., Біткулов А. О. Підвищення ефективності технічного обслуговування, експлуатації і ремонту складних технічних систем.....	89
Дзисюк Я. В. Гібридні суднові енергоустановки з силовими напівпровідниковими перетворювачами	90
СЕКЦІЯ 4. ПІДВОДНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ.....	
96	
Пономаренко В. В. Система стабілізації судна на курсі на базі нечіткої логіки	96
Сімченко Ю. О. Інтегрована система керування технічними засобами судна.	99
СЕКЦІЯ 5. ІМПУЛЬСНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ.....	
103	
Омелян А. І. Дослідження впливу високовольтних електричних розрядів на властивості суміші порошків FE-TI-B4C	103
Харченко В. В., Мавродиев А. В. Анализ электровзрыва проводников из тугоплавких металлов в углеродсодержащей газообразной среде.....	104
Богуцький В. В. Електровибуховий синтез вуглецевих наноструктур	106
Турчин С. О. Електровибуховий метод синтезу наноалмазів.....	107

Рачков О. М., Кравцов Д.С., Пащенко В. С. Електроіскрове очищення гальваностоків від іонів важких металів	109
СЕКЦІЯ 6. АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА	
Бесєдовський О. С. Програмний захист веб-сайтів від несанкціонованої модифікації.....	112

ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ АВТОРІВ

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ



Згідно з бюлетенем ВАК України № 12 від 2009 року (с. 5); № 5 від 2010 року (с. 15); № 6 від 2010 року (с. 13) електронне видання «Вісник НУК» внесене до переліку електронних наукових фахових видань.

Видання виходить до 6 разів на рік в електронному вигляді та 1 раз на рік — у друкованому.

Матеріали, опубліковані у «Віснику НУК», зараховуються як фахові у галузях технічних та економічних наук.

Видання містить статті з результатами досліджень за групами спеціальностей: кораблебудування; обробка матеріалів у машинобудуванні; галузеве машинобудування; електротехніка; інформатика; обчислювальна техніка та автоматизація; техногенна безпека; енергетика; машинобудування; економіка та управління підприємствами.

<http://ev.nuos.edu.ua>

Для подання статті необхідні:

- експертний висновок про можливість опублікування;
- протокол засідання експертної комісії;
- витяг із протоколу засідання кафедри;
- рецензія на статтю;
- відомості про авторів (анкета автора);
- 2 примірники роздрукованої статті на папері формату А4;
- електронний варіант статті.

Статті приймаються за адресою:

каб. 551, просп. Героїв Сталінграда, 9,
м. Миколаїв, 54025

тел.: (+380512) 42-32-71

e-mail: ev@nuos.edu.ua

Контактна особа:

Крива Маргарита Сергіївна

Мова збірника: українська, російська,
англійська

Наукове видання

АВТОМАТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА – 2019

ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ

14-15 листопада 2019 року

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, проспект Центральний, 3

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

(українською та російською мовами)

Відповідальний за випуск:
Комп'ютерна верстка:

О. О. Черно
М. В. Шилюк

Видавець Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
проспект Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025
E-mail: publishing@nuos.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2506 від 25.05.2006 р.