

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

АВТОМАТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

МАТЕРІАЛИ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
СТУДЕНТІВ, АСПІРАНТІВ ТА МОЛОДИХ ВЧЕНИХ

20-21 листопада 2024 року

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

МАТЕРІАЛИ

Миколаїв 2024

УДК 681.5:621.3

А 22

Автоматика та електротехніка: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених [Електронний ресурс]. – Миколаїв: НУК, 2024. – 113 с.

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

Розглянуті питання теорії, практики та розвитку електромеханічних систем і пристроїв суднового та загальнопромислового призначення, а також 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:

О.О. Пальчиков
О.О. Пальчиков

© Національний університет кораблебудування, 2024

ПЛЕНАРНА СЕКЦІЯ

УДК 621.3.052

Дюков В.О., Савицький М.С., Єрмоленко Б.О., Ушкаренко О.О., д.т.н., проф.
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНИХ РОБОТИЗОВАНИХ ПЛАТФОРМ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

Вступ. Сучасні тенденції розвитку робототехніки свідчать про важливість використання мобільних роботизованих платформ у навчальному процесі. Вони дозволяють не лише підвищити рівень практичних знань здобувачів вищої освіти, а й інтегрувати сучасні технології автоматизації та штучного інтелекту в освітній процес [1, 2]. Застосування таких платформ відкриває можливості для вивчення алгоритмів керування в умовах динамічного середовища та знайомства з мультимікропроцесорними системами управління. Як зазначається в [3], існують сценарії застосування роботів, які акцентують увагу на поведінковому моделюванні в контексті педагогіки, а не лише на виробничих процесах та їхньому моделюванні в певних галузях. Крім того, мобільні роботизовані платформи все частіше використовуються для вирішення завдань очищення корпусів суден [4-6]. Такі рішення активно використовуються у портових містах, зокрема в Одесі та Миколаєві, для обслуговування флоту та промислових об'єктів. Тому використання мобільних роботизованих платформ в навчальному процесі дозволить підвищити якість підготовки фахівців та надасть можливість для здобувачів вищої освіти отримати необхідні знання та компетенції з проектування, програмування та експлуатації подібних роботів, що підкреслює актуальність досліджень в цьому напрямку. Крім того, актуальність дослідження зумовлена тим, що традиційні системи управління на базі одного мікроконтролера обмежують можливості використання багатьох датчиків через зниження швидкості обробки інформації. Це призводить до підвищення ризику збоїв у критичних ситуаціях. Розробка та впровадження багатомікропроцесорних рішень дозволяють подолати ці обмеження та підвищити надійність і адаптивність систем керування. Впровадження таких рішень у навчальний процес надає студентам можливість засвоїти принципи побудови комплексних систем керування мобільними роботами.

Метою дослідження є визначення складу актуаторів та сенсорів і розробка блок-схеми багатомікроконтролерної системи керування мобільною роботизованою платформою з урахуванням потреб та можливостей використання в навчальному процесі.

Основна частина. Управління рухом мобільної роботизованої платформи здійснюється на основі інформації від бортових сенсорних систем, а також зовнішніх джерел, що надходять по радіо- або оптичному каналу зв'язку. До складу мобільної роботизованої платформи входять:

- Чотири реверсивні двигуни з металевою прямозубою передачею;
- Чотириколісна платформа з роликонесучими колесами;
- Два ультразвукових далекоміра HC-SR04;
- Мікроконтролер ATmega16 для опитування датчиків і керування засобами відображення інформації;
- Мікроконтролер ATmega162 для керування двигунами;
- Драйвери L293D для керування мотор-редукторами постійного струму;
- Bluetooth-радіомодем HC-05 для бездротового зв'язку;
- Інфрачервоний датчик руху HC-SR501; датчик температури DS18B20;
- П'єзоелектричний перетворювач (buzzer);
- Світлодіоди для індикації режимів роботи та освітлення (RGB LED);
- Інфрачервоний приймач RC5 для керування з пульта дистанційного керування;
- Рідкокристалічний дисплей 16×4; електронний компас HMC5883L.

Зв'язок між мікроконтролерами здійснюється за допомогою інтерфейсу RS232, який забезпечує зручність та надійність передачі даних. Кожен мікроконтролер має власну мережеву адресу, що дозволяє чітко визначити отримувача керуючих команд через Bluetooth-модем або інфрачервоний приймач.

На рис. 1 наведено структурну схему системи керування мобільною роботизованою платформою.

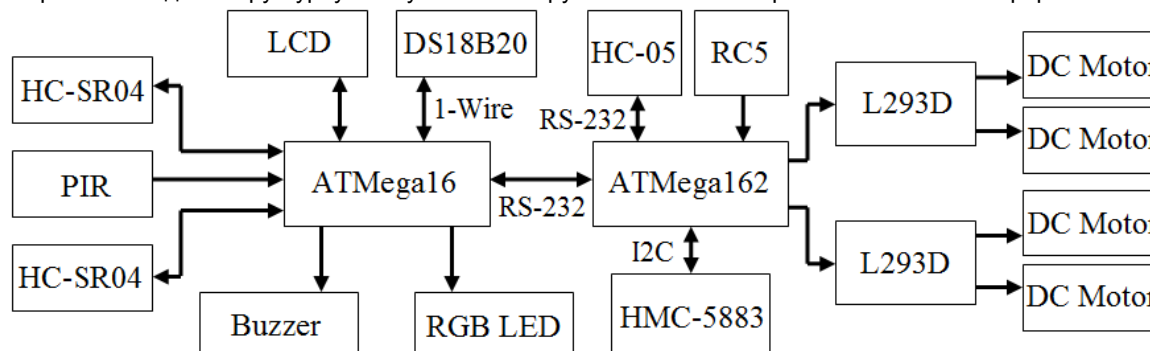


Рисунок 1 – Структурна схема системи керування мобільною роботизованою платформою

На рис. 2 представлено зовнішній вигляд створених мобільних роботизованих платформ на роликонесучих колесах, які використовуються в навчальному процесі кафедри ПЕЕТ НУК ім. адм. Макарова. При цьому розроблені роботизовані платформи відрізняються типом використаних роликонесучих колес, складом сенсорної системи та комунікаційних модулів. Це сприяє розширенню спектру завдань, що вирішуються в навчальному процесі з використанням роботів, зокрема аналіз їх кінематичних моделей, а також дозволяє вивчати різні закони управління рухом, в тому числі в середовищі, що динамічно змінюється.

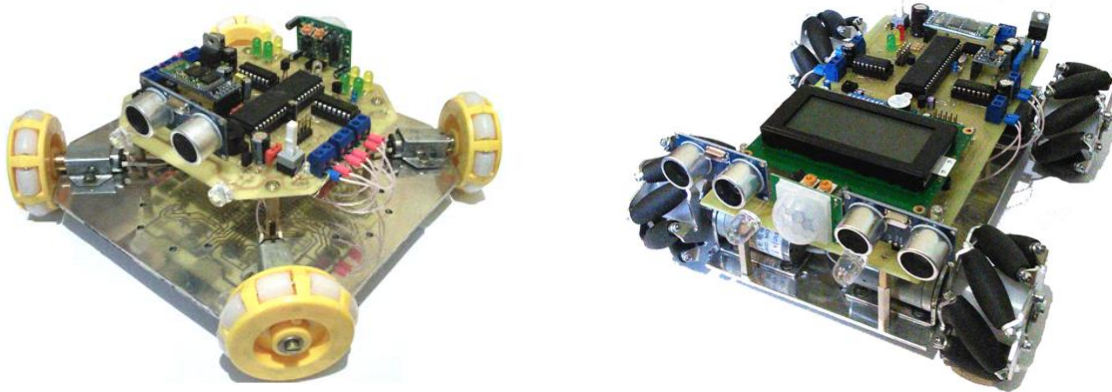


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд розроблених мобільних роботизованих платформ на роликонесучих колесах

Також використання розроблених мобільних роботизованих платформ у навчальному процесі кафедри програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій НУК ім. адм. Макарова дозволяє студентам вивчати принципи керування платформами з багатьма типами сенсорів. Розглянуті мобільні роботизовані платформи надають можливість опановувати методи мультимодального аналізу даних, коли одночасно застосовуються датчики різних типів для формування повної картини про навколишнє середовище. Це сприяє розвитку важливих навичок в області синтезу алгоритмів управління та програмування мобільних роботів

Висновки. В результаті проведеного дослідження було розроблено багатомікроконтролерну систему керування для мобільної роботизованої платформи на роликонесучих колесах. Запропоноване технічне рішення забезпечує підвищення надійності та гнучкості управління завдяки розподілу завдань між двома мікроконтролерами. Один мікроконтролер відповідає за зчитування та обробку даних з датчиків, а інший – за формування керуючих сигналів для колісних двигунів. Практична значущість роботи полягає у використанні багатомікроконтролерної архітектури, яка підвищує стійкість системи керування до збоїв і забезпечує можливість автономного або ручного керування навіть за умов часткового виходу з ладу обладнання. Запропонований підхід також розширює можливості використання мобільних роботів як навчальних інструментів, що дозволяють здобувачам вищої освіти працювати з реальними системами керування та досліджувати різноманітні закони руху. Розглянуті мобільні роботизовані платформи можуть бути дооснащені відеокамерами, що дасть змогу використовувати їх для досліджень у важкодоступних або небезпечних для людини місцях. Це робить мобільні роботизовані платформи ефективним і компактним засобом дистанційного спостереження та експериментального навчання.

Список використаних джерел

1. Струтинська О.В. Актуальність впровадження освітньої робототехніки в українську школу / О.В. Струтинська // Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету. Спецвипуск "Нові педагогічні підходи в STEAM освіті". 2019. С. 324-344.
2. Гриневич М.С. Мобільна платформа у вигляді робота-павука та аналіз можливостей її застосування / М.С. Гриневич, Є.М. Андрієць, А.В. Коваль // Матеріали конференції Житомирського державного технологічного університету. 2019. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/02/158-1.pdf>.
3. Лунтовський А.О. Сучасні додатки та платформи для роботів / А.О. Лунтовський // Вісник Університету «Україна», серія: інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика. 2019. № 1 (22). С. 20-29.
4. Герасін О.С. Застосування робототехніки для автоматизації технологічних процесів суднобудування та судноремонту = Application of robotics for automation of technological processes of shipbuilding and shiprepair / О.С. Герасін, А. М. Топалов // Матеріали XIV міжнар. наук.-техн. конф. "Інновації в суднобудуванні та океанотехніці". – Миколаїв : НУК, 2023. С. 401–403.
5. Chenjian Dong. Features of human-machine interaction in the system of wireless control of a mobile robot / Dong Chenjian, Wang Jianjun, S.P. Robotko, O.M. Susak, A.M. Topalov, V.V. Kolomiets // Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ». Луцьк, 2023, №76. Р. 166-172.
6. Мобільний робот для механічного очищення корпусу судна : пат. 100341 Україна : МПК (2015.01) B25J 19/00. № у 2015 100341 ; заяв. 05.01.2015 ; опубл. 27.07.2015, Бюл. № 14/2015.

УДК 621.314.26

Верещаго Є. М., к. т. н., Джангіров М. В., Єременко А. П.

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

МОДЕЛЮВАННЯ ІМПУЛЬСНОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПЛАЗМОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Сучасні технологічні процеси у різноманітних галузях часто використовують низькотемпературну плазму для обробки матеріалів і деталей. Плазмотрони постійного струму застосовують для різання, плавки, зміцнення металів, нанесення спеціальних плівок і покриттів і т. і. Якість виконуваних робіт значною мірою залежить від стабільності параметрів електричної дуги, яка є джерелом плазми. Таким чином, до джерела живлення (ДЖ) плазових технологій висуваються вимоги щодо якості процесу стабілізації струму дуги, енергоефективності і електромагнітної сумісності. Внаслідок цього задача розробки математичних моделей ДЖ є актуальною, оскільки дозволяє обґрунтувати вибір типу структурної схеми (топології) і визначити умови оптимальності параметрів елементів схеми.

Математичні моделі ДЖПТ можна розділити на дві групи: ключові (імітаційні) і неперервні (усереднені). Останні є спрощеними і використовуються для проектування регуляторів систем стабілізації струму і аналізу стійкості ДЖПТ [1-3]. Імітаційні моделі дозволяють досліджувати процеси в елементах схеми ДЖПТ, однак вони є нелінійними і складними у застосуванні у задачах синтезу регуляторів. Питання побудови імітаційних моделей імпульсних перетворювачів, у тому числі інверторів, розглянуто у роботі [4], однак схеми, які зазвичай використовуються у ДЖПТ у ній не розглядаються. Імітаційні моделі ДЖПТ розглянуто у роботах [5, 6] однак при цьому недостатню увагу приділено способу керування транзисторами імпульсного перетворювача.

Метою роботи є розробка імітаційної моделі ДЖПТ з урахуванням особливостей способу керування ключовими елементами.

Структурна схема ДЖПТ. У подальшому розглянемо структурну схему, яку наведено на рис. 1. Вона містить джерело трифазної напруги промислової частоти і повномостовий перетворювач з фазовим керуванням. Перевагою останнього є використання постійної частоти несучої ШІМ і низький рівень пульсацій вихідної напруги. Принципову схему імпульсного перетворювача наведено на рис. 2. Вона містить LCC-ланки, які забезпечують м'яку комутацію транзисторів (режим ZVS). Дугове навантаження представлено джерелом постійної напруги U_0 і послідовно з'єднаним резистором R_0 , який відображає від'ємний диференційний опір дуги.

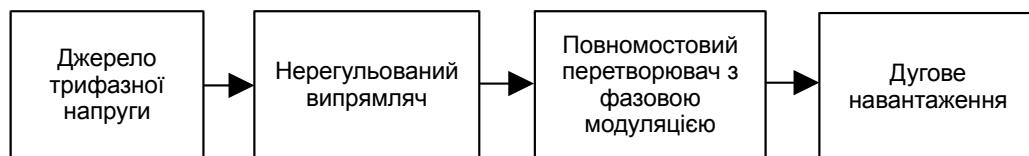


Рисунок 1 – Структурна схема імпульсного джерела живлення

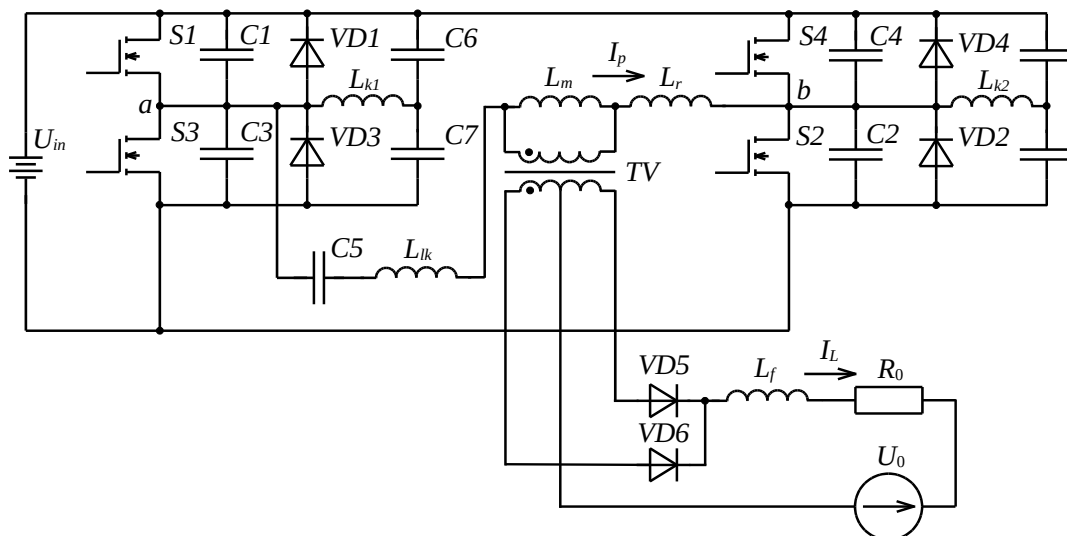


Рисунок 2 – Принципова схема імпульсного перетворювача

Імітаційна модель. Для обраної схеми була сформована імітаційна модель у середовищі Simulink, яка представлена на рис. 3. В моделі використано фазове керування. Сигнал похибки струму подається на ПІ-регулятор, виходом якого є кут зсуву двох сигналів керування транзисторами PWM1 і PWM2. Перехідний процес представлено на рис. 4.

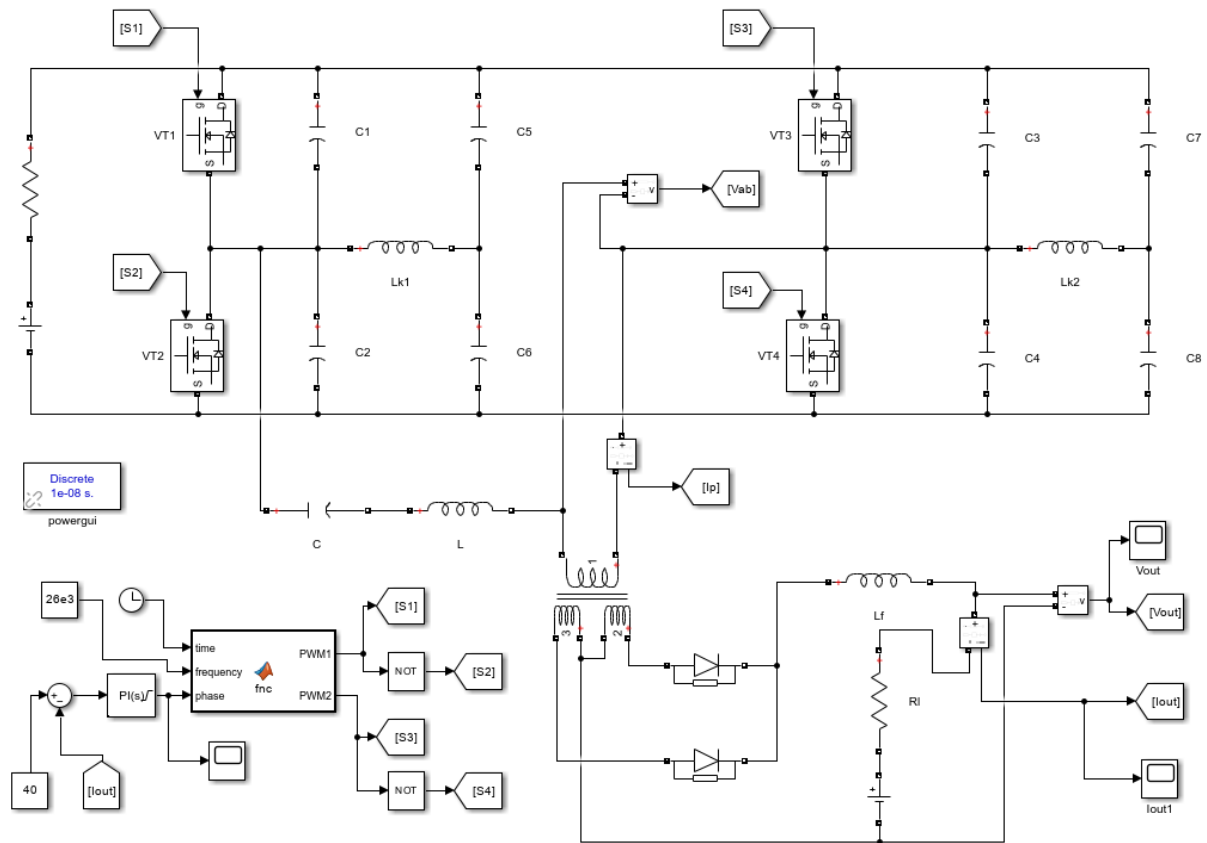


Рисунок 3 – Імітаційна модель мостового імпульсного перетворювача з фазовим керуванням

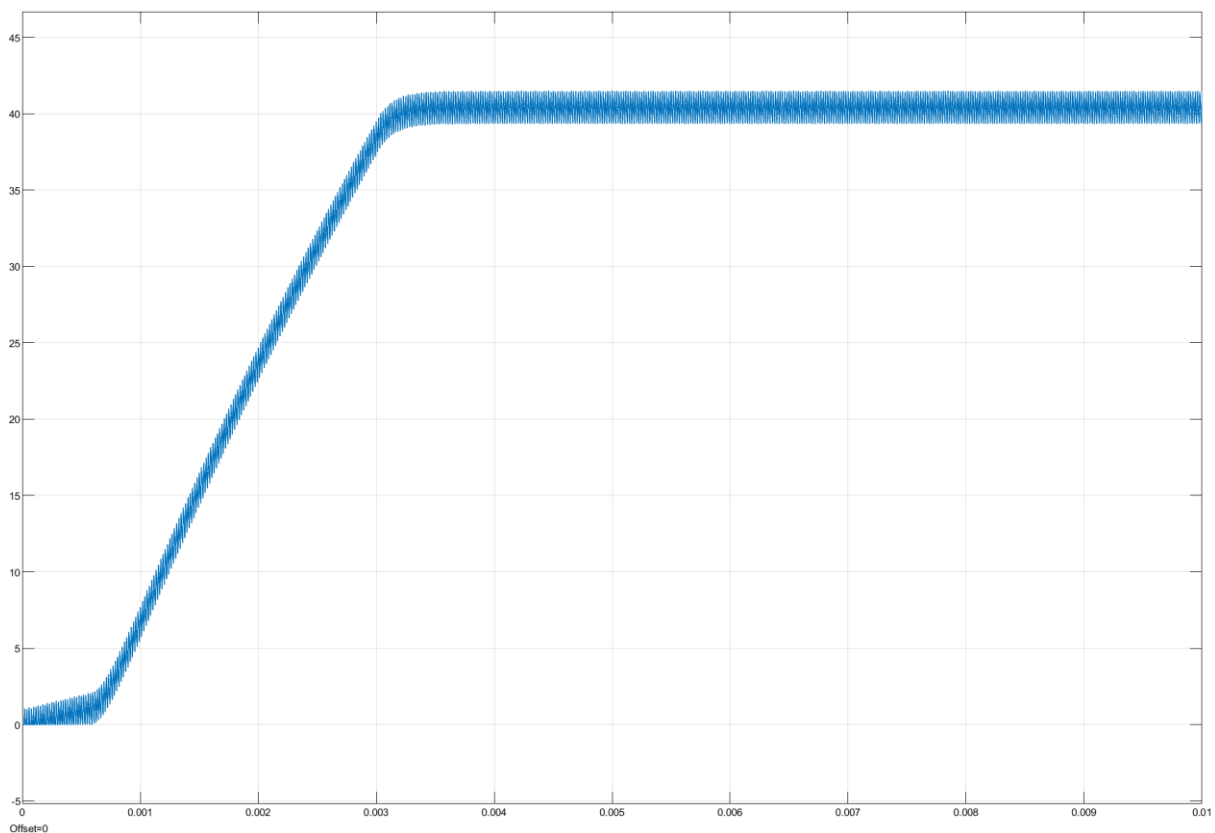


Рисунок 4 – Графік перехідного процесу

Висновки. Розроблена імітаційна модель імпульсного джерела живлення на основі повномостового перетворювача з фазовим керуванням дозволяє досліджувати показники якості керування вихідним струмом в залежності від параметрів регулятора і параметрів елементів схеми. Напрямами подальших досліджень є дослідження способів синтезу регуляторів ДЖПТ на основі імітаційної моделі.

Список використаних джерел

1. Аналіз перетворювача постійного струму, що працює на плазмову дугу / Є.М. Верещаго, В.І. Костюченко, С.М. Новогрецький // Електротехніка і електромеханіка, 2023, № 5, С. 31–36. <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2023.5.05>
2. Digital Control System of a Pulsed Power Supply for the Plasmatron / E. Vereshchago, V. Kostiuchenko, S. Novogretskyi // 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). pp. 30–34. <https://doi.org/10.1109/MEES61502.2023.10402495>
3. Верещаго Є. М. та ін. Створення нейро-нечіткого контролера для керування джерелом живлення // Сучасні проблеми автоматики та електротехніки: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції. –Миколаїв: НУК, 2024. – С. 52–59.
4. Asadi F. Simulation of Power Electronics Circuits with MATLAB / Simulink: Design, Analyse, and Prototype Power Electronics. – Apress, 2022. – 534 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-8220-5>
5. Jia D., He J., Zhao C. Fuzzy control and simulation for inverted plasma cutting power supply // 2009 9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments. 2009. pp. 3–523–3-527.
6. Jia D., Wang R., Wang C. Simulation Research of Inverted Plasma Cutting Power Supply Based on Fuzzy Control // Advanced Materials Research. Vols 179-180 (2011) pp. 1229-1234

УДК 629.08

Піряник А.Р., Дьяконов О.С., к.т.н., доц.

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

ПРИНЦИП РОБОТИ ТА ДОСВІД ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАЛИВOROЗДАВАЛЬНИХ КОЛОНОК НА ПРИКЛАДІ «ШЕЛЬФ» СЕРІЇ 200

Паливороздавальні колонки (ПРК) серії «Шельф» 200 є обладнанням, що використовується на автозаправних станціях для дозування та видачі палива. Основою їхньої роботи є принцип точної подачі палива за допомогою насосного механізму та системи контролю, що дозволяє з точністю ($\pm 0,5\%$) вимірювати об'єм палива, що видається. Колонки обладнані лічильниками, насосами та фільтрами, які забезпечують надійну й безпечну експлуатацію. Моделі серії «Шельф» 200 відзначаються надійністю та простотою обслуговування.

Метою даної роботи є дослідження принципу функціонування та опис основних несправностей в частині електричної та електронної складової паливороздавальної колонки на прикладі моделі «Шельф» серії 200.

Знайомство з елементною базою ПРК

Колонка ПРК «ШЕЛЬФ» серії 200-2 (рис. 1) складається з наступних елементів:

- нижній корпус з гідравлічною та електричною частиною;
- верхній корпус з електронною частиною та табло (електронна головка);
- шлангоприймач;
- роздатковий шланг із роздавальним краном;
- рама колонки.



Рисунок 1 – Елементи ПРК

На основній рамі знаходиться гідравлічна та електрична частина, яка у свою чергу складається залежно від модифікації та виконання:

- від 1 до 5 насосів, відцентрових, з лопатевими елементами (самовсмоктувальним) із вбудованим фільтром, зворотним клапаном та відділювачем газу;
- від 1 до 5 трифазних електродвигунів;
- від 1 до 10 чотирьохпоршневих вимірювачів об'єму.

Особливістю ПРК серії 200 є дзеркальне розташування насосів, вимірювачів об'єму та клапанів по відношенню до паливороздавальних кранів.

Моноблок та вимірювач об'єму з'єднані між собою мідним трубопроводом. Вузли електроустаткування приєднуються до розподільної коробки за допомогою кабелів, які прокладаються та закріплюються на каркасі колонки. Подача електроенергії на кожну колонку повинна здійснюватись через окремий вимикач у силовій шафі.



Рисунок 2 – Схема розташування насосів

Електронна частина складається з:

- електронно-рахункового блоку – для обробки імпульсів від датчиків імпульсів, обчислення обсягу відпущеного палива та його вартості, видачі команд на управління колонкою, індикації відпущеного обсягу палива, ціни та вартості (рис. 3);

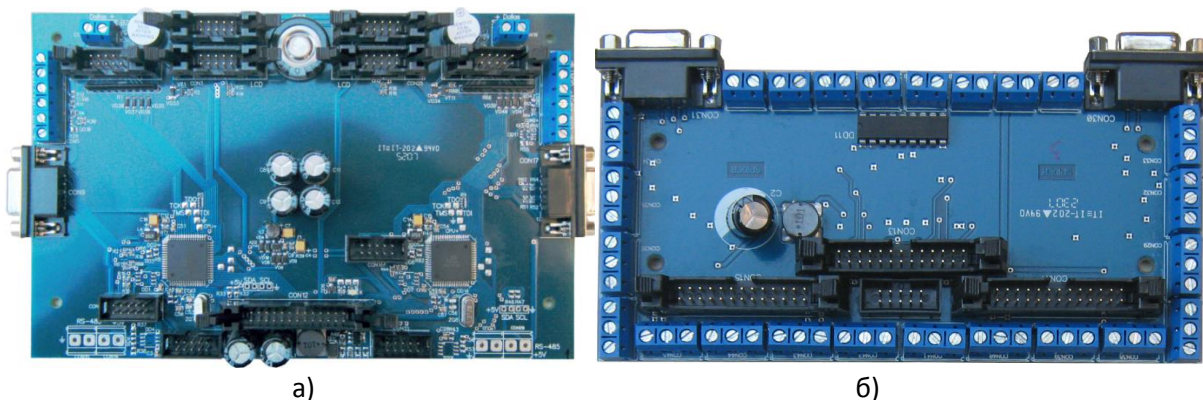


Рисунок 3 – Центральна плата керування(а)та плата комутації периферії(б)

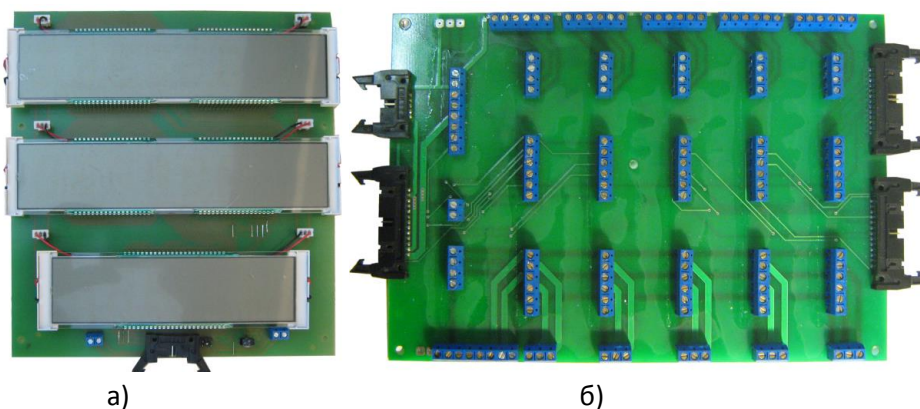


Рисунок 4 – Плата індикації (а) та плата комутації силових модулів (б)

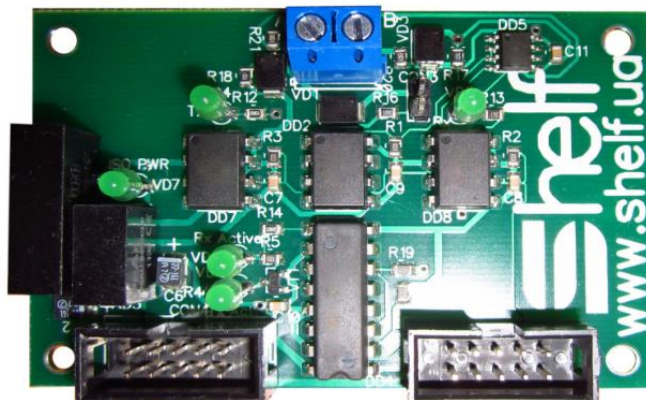
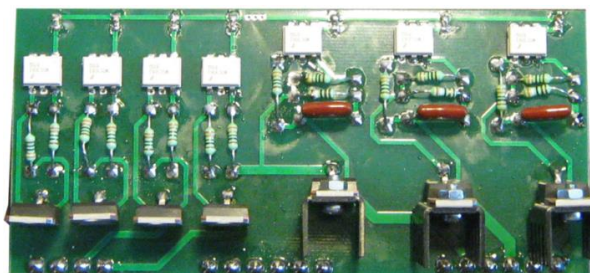
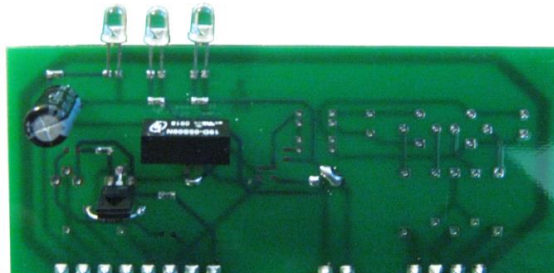


Рисунок 5 – Плата інтерфейсна

- вузла керування – для керування двигуном насоса, вентилями, сигналізацією, деблокування та інших функцій керування (рис. 6).



а)



б)

Рисунок 6 – Плата керування двигуном та клапаном (а), плата контролю фаз

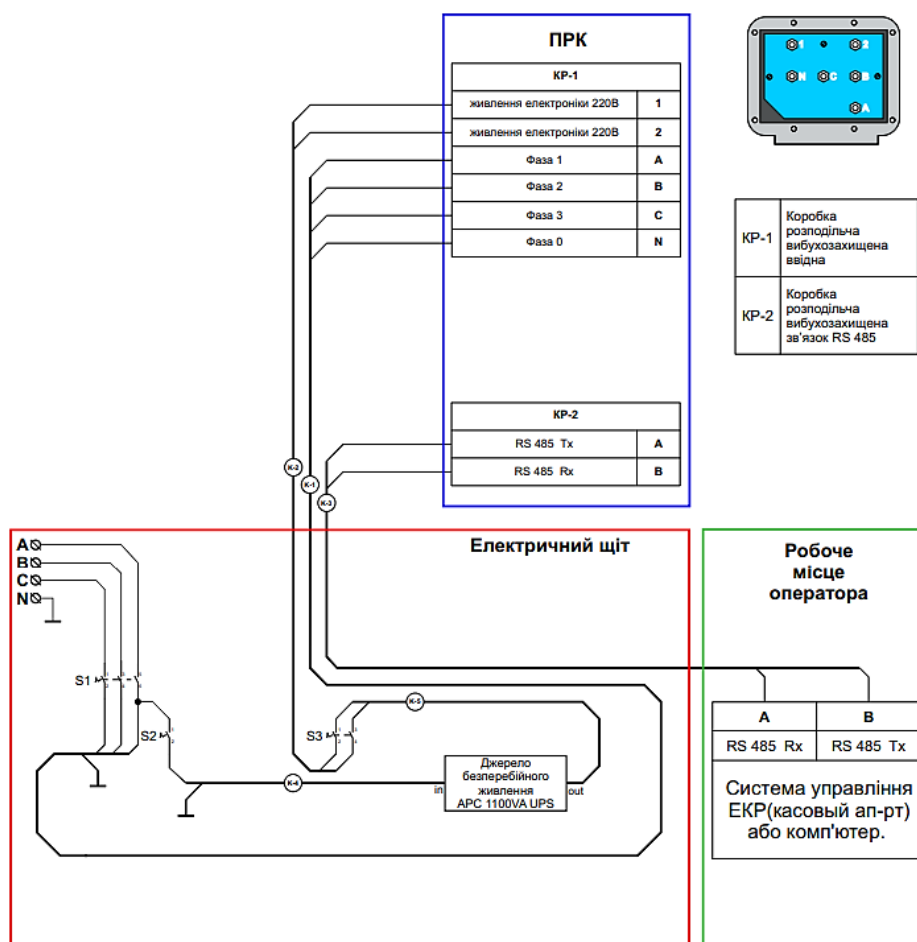


Рисунок 7 – Електрична схема підключення ПРК з вбудованими насосами

Принцип дії ПРК

Після зняття роздавального крана з утримувача вмонтований контакт датчика положення подає сигнал електронному блоку, який за командою оператора включає електродвигун насоса.

Електродвигун приводить у дію насос, який служить для подачі палива. Вал чотирипоршневого вимірювача об'єму з'єднаний з електронним датчиком імпульсів, який передає імпульси вимірюваної величини до електронно-лічильного блоку.

Насос засмоктує паливо з ємності та подає його через фільтр у відділювач газів. Після того, як можливо були домішки газу і повітря відокремлені, паливо під тиском подається в чотирипоршневий вимірювач об'єму і через систему труб в роздатковий шланг. На кінці роздаткового шланга знаходиться роздатковий кран, в якому за допомогою важеля, що наводиться вручну, швидкість потоку палива може бути змінена від 0 до максимального значення.

Якщо роздатковий кран буде підвішений у тримач, то вбудований контакт датчика положення вимикає електродвигун насоса і закінчується таким чином процес заправки.

Зв'язок між вимірником об'єму та лічильним пристроєм проводиться муфтою спеціальною.

Електронно-рахунковий пристрій відраховує відміряну кількість палива та подає сигнал на пульт дистанційного керування. Після закінчення заданої дози відпуску палива колонка автоматично відключається.

Всі ПРК обладнані електронним калібруванням.

Досвід експлуатації, можливі несправності

Паливороздавальні колонки серії «Шельф» 200 широко використовуються на автозаправних станціях. Наприклад, 99% АЗС компанії «Кворум-Нафта» оснащені колонками «Шельф» різних серій. Вони зарекомендували себе як надійне обладнання, але іноді виникають несправності.

Несправності ПРК умовно поділяються на дві групи: **механічні** та **електронні**. Механічні несправності найчастіше пов'язані з природним зношуванням деталей, таких як пістолет, муфта, шланг або фільтр.

Складнішими є електронні та електричні проблеми, причиною яких часто стає людський фактор. Найпоширеніші ситуації включають:

- вимкнення автомата живлення ПРК;
- неповне підключення штекера до роз'єму (що впливає на зв'язок з касою або комп'ютером);
- зміна COM-порту при підключенні до ПК;
- демонтаж витої пари електриками, які вважають її «зайвою».

Справжні несправності електронної частини часто трапляються після грози, що може призводити до пошкоджень обладнання.

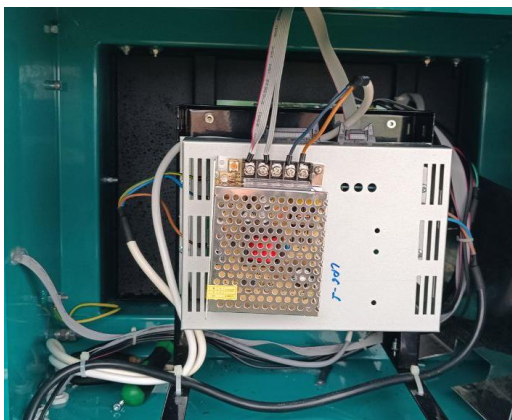
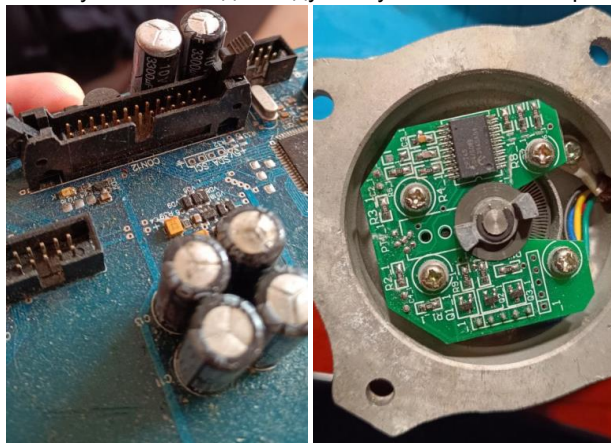


Рисунок 8 – Вихід із ладу блоку живлення електроніки



а)

б)

Рисунок 9 – Вздуття силових конденсаторів та «відстрілювання» мікроконтролеру (а), вихід з ладу мікросхеми драйверу датчика імпульсів (б)

Частою несправністю, що виникає після перепадів напруги, є пробиття силових симісторів або оптосимісторів на платі керування двигуном (див. рис. 6, а).

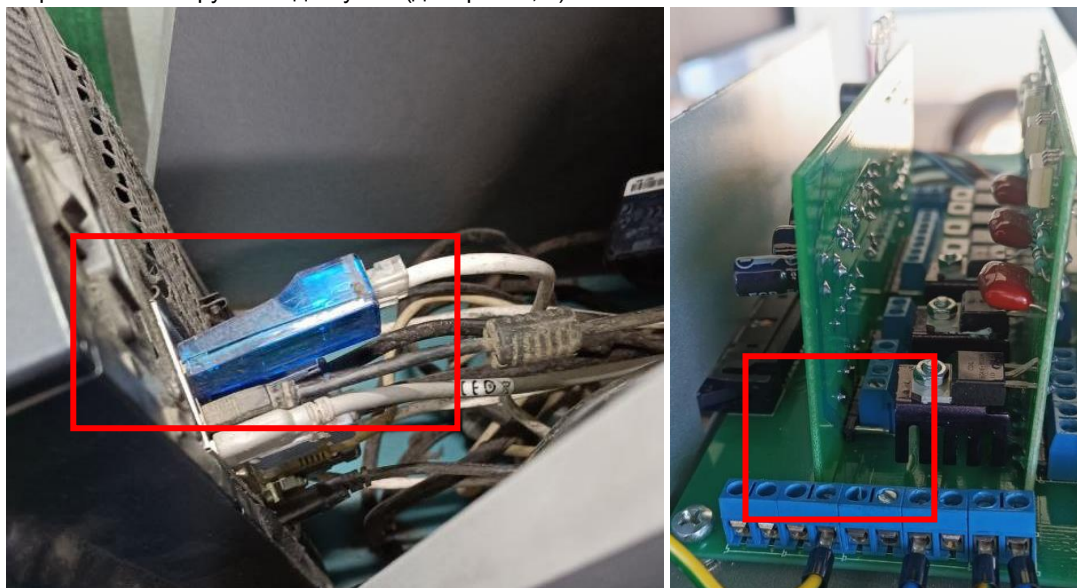


Рисунок 10 – Вихід з ладу перетворювача інтерфейсів для зв'язку з ПРК (а), помилка при монтуванні плати контролю фаз (б)

Висновок: Паливороздавальні колонки серії «Шельф» 200 забезпечують точність ($\pm 0,5\%$) та безпечність дозування палива завдяки надійній роботі електронної периферії, що включає системи вимірювання, управління та контролю. Дослідження принципів роботи цих колонок підтвердило їх ефективність і простоту обслуговування, що робить їх оптимальними для використання на автозаправних станціях.

Список використаних джерел

1. Інструкція по монтажу паливороздавальних колонок Шельф 200-2. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://shelf.ua/docs/montage/disp/ms200_2.pdf
2. Колонки паливороздавальні "ШЕЛЬФ ..." 1КЕД 50 - 0,25 - 2 - 1-Х ... і "ШЕЛЬФ ..." 2КЕД 50 - 0,25 - 2 - 1-Х ТУ У 33.2-30838462.001-2002 керівництво з експлуатації Ш. 02.00.00 РЕ.
3. Колонка паливороздавальна. Інструкція користувача. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://shelf.ua/docs/manual/u_Manual_C.pdf
4. ДСТУ 8912:2019 Метрологія. Колонки паливороздавальні для рідкого палива. Методика повірки, 2019.

УДК 621.311.24:621.314

Стрункін Г.М.

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні ЗНУ, ТОВ «Плутон ІС», м. Запоріжжя

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ АВТОНОМНОЇ ВЕУ З АДМ НА БАЗІ АГФР ЗІ ЗБУДЖЕННЯМ ВІД ІНВЕРТОРА НАПРУГИ

Вітроенергетичні установки (ВЕУ) є важливою складовою відновлювальної та альтернативної енергетики, розвиток якої триває у рамках так званого енергетичного переходу. У 2024р. сукупна частка електроенергії, яка було вироблено на ВЕУ та сонячних електростанціях перевищила енергію, що було отримано від гідроенергетики [1]. Підвищити надійність вітротурбіни та зменшити її експлуатаційні витрати дозволяє використання безмультіплікаторних схем. Відійти від потреби встановлення мультіплікатора можливо або за рахунок використання тихохідного генератора, або шляхом застосування схеми аеродинамічного мультіплікування (АДМ) [2]. Перший варіант пов'язаний з погіршенням масогабаритних показників всієї системи внаслідок збільшення маси самого генератора [3]. Цей підхід застосовується відносно великий термін та має великий досвід використання. АДМ є відносно новим перспективним напрямком розвитку безмультіплікаторних схем. Даний напрямок має певні позитивні властивості: 1. Наявність ефекту автооптимізації. 2. Зменшення встановленої потужності генераторів за рахунок розподіленої схеми перетворювання. Слід зазначити даний напрямок на теперішній час в практичному плані розвивається тільки в Україні [4].

Для реалізації схеми АДМ регулювання режимів роботи покладається на електрообладнання, яке зазвичай включає в себе, крім генератора, перетворювач частоти (ПЧ) [4].

Для зниження встановленої потужності ПЧ та, відповідно, його вартості, доцільним є застосування схем з неповним перетворенням енергії. До таких схем належать ВЕУ на базі асинхронного генератора з фазним ротором (АГФР) [5, 6], де значна частка потужності знімається безпосередньо із затисків статора. Встановлена потужність перетворювача в ланцюзі ротора, призначеного для регулювання робочих режимів установки,

визначається, відповідно, потужністю ковзання. Додаткове зниження вартості такої ВЕУ може бути досягнуто шляхом застосування серійної асинхронної машини з фазним ротором. Використання серійного обладнання виключає витрати на розробку та впровадження спеціалізованих машин [7]. Властивості джерела безперервного електроживлення ВЕУ з АДМ на базі АГФР можна досягти при використанні збудження генератора від автономного інвертора напруги (АІН) [6].

Структурна схема такої ВЕУ є новою, тому в літературі відсутні рекомендації що до обирання її обладнання. Потужність складових частин ВЕУ визначається режимами її роботи. Аналізу режимів роботи електромеханічної системи автономної ВЕУ з АДМ на базі АГФР зі збудженням від інвертора напруги і присвячено дану роботу.

Метою роботи є аналіз режимів роботи електромеханічної системи автономної ВЕУ з АДМ на базі АГФР зі збудженням від інвертора напруги.

Опис електромеханічної системи автономної ВЕУ з АДМ на базі АГФР зі збудженням від інвертора напруги

Схему електромеханічної системи автономної ВЕУ з АДМ на базі АГФР зі збудженням від інвертора напруги представлено на рис. 1.

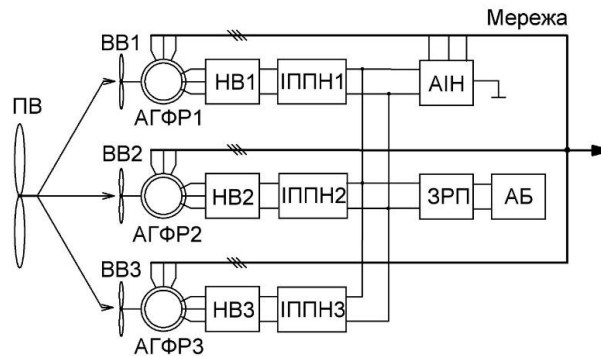


Рисунок 1 – Структурна схема електромеханічної системи автономної ВЕУ з АДМ на базі АГФР зі збудженням від інвертора напруги

При наявності вітру, первинна вітротурбіна ПВ з незмінним кутом встановлення лопатей створює вітровий потік великої швидкості для вторинних вітротурбін ВВ1...ВВ3, розташованих на лопатях ПВ, які, в свою чергу, обертають асинхронні генератори з фазним ротором АГФР1...АГФР3. Енергія знімається як з боку статора кожного генератора, так і з боку ротора (енергія ковзання) через індивідуальний некерований випрямляч НВ1...НВ3. Коли швидкість вітру перевищує номінальну, можливо зменшення моменту шляхом регулювання проти-ерс імпульсного перетворювача постійної напруги ІППН1...ІППН3, який є навантаженням некерованих випрямлячів. Енергія ковзання використовується також для підзарядки акумуляторної батареї АБ. Струм заряджання АБ формується зарядно-розрядним пристроєм ЗРП. Автономний інвертор напруги АІН формує мережу та компенсує реактивну потужність генераторів.

Режими роботи електромеханічної системи автономної ВЕУ з АДМ на базі АГФР зі збудженням від інвертора напруги

Залежно від комбінацій значень швидкості вітрового потоку і рівня енергоспоживання може змінюватися структура передачі активної потужності в системі. При комбінаторному аналізі був виявлений повний набір можливих видів робочих режимів, і визначені умови виникнення кожного з них.

Далі приведений аналіз кожного з режимів за допомогою енергетичних діаграм (Рис. 2, а-з). На діаграмах позначені:

- P_1 – сумарна потужність статора для трьох генераторів;
- P_s – сумарна потужність ковзання для трьох генераторів;
- P_H – потужність, що передається в навантаження;
- $P_{зар}$, $P_{роз}$ – відповідно, потужність заряду та розряду акумулятора;
- $P_{МЕХ}$ – електромагнітна потужність в руховому режимі;
- $P_{РЕК}$ – потужність рекуперації навантаження;
- $P_{ЧОП}$ – потужність, яку розсіює чопер;
- $\Delta P_{РОТ}$ – сумарні втрати в роторі для трьох генераторів;
- $\Delta P_{НВ}$ – сумарні втрати в некерованих випрямлячах роторних ланцюгів;
- $\Delta P_{ІППН}$ – сумарні втрати в ІППН роторних ланцюгів;
- $\Delta P_{АІН}$ – втрати в АІН;
- $\Delta P_{СТ}$ – сумарні втрати в статорі трьох генераторів;
- $\Delta P_{ЗРП}$ – втрати зарядно-розрядному пристрої;
- $\Delta P_{АБ}$ – втрати в акумуляторної батареї;
- $\Delta P_{ЧОП}$ – втрати в чопері.

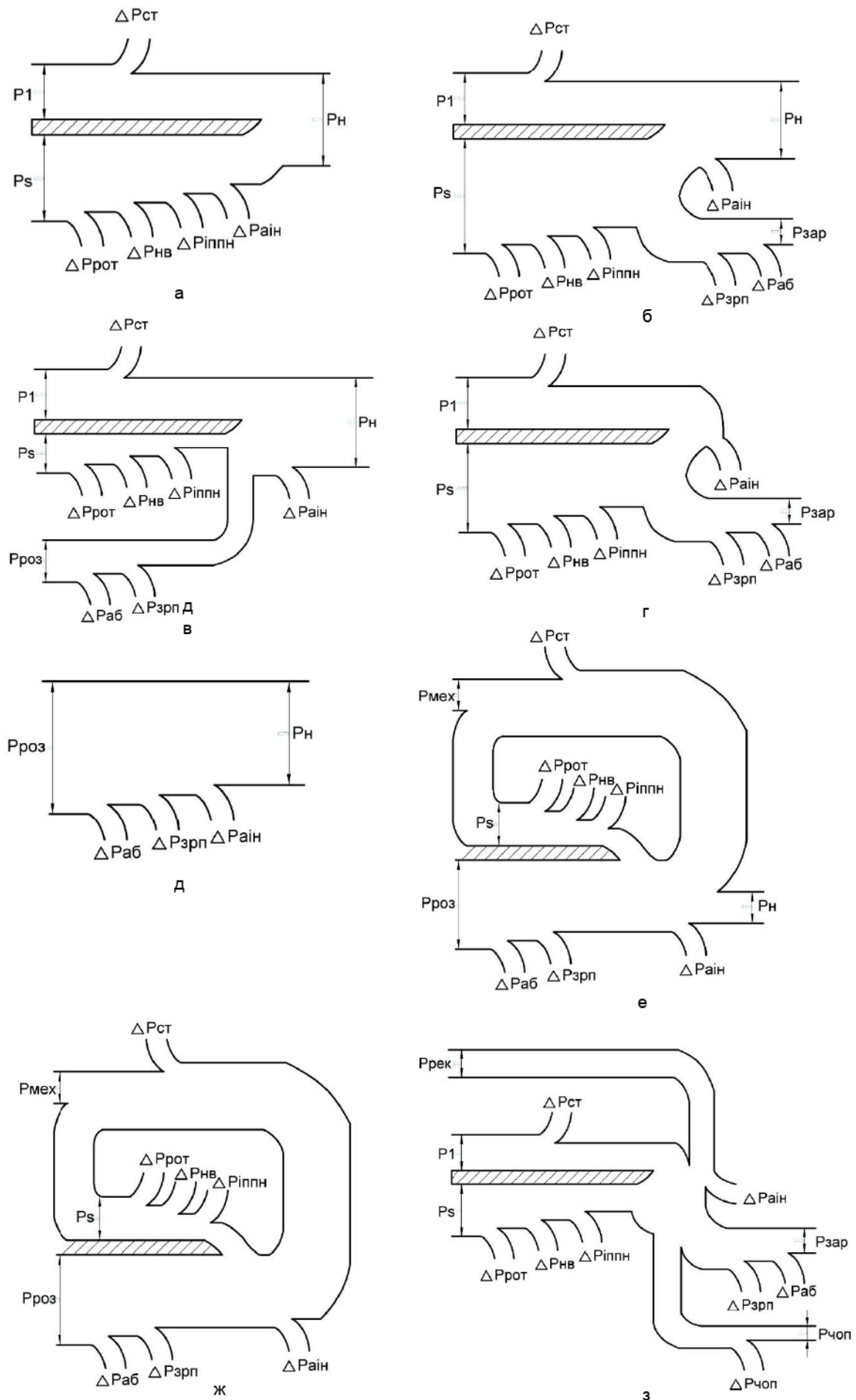


Рисунок 2 – Енергетичні діаграми ВЕУ

Режим А (Рис. 2, а). Відповідає балансу потужності, що генерується і споживається. Потужність, що знімається із затисків статора і ротора генераторів, з урахуванням втрат дорівнює потужності, яку споживає навантаження. Рівняння балансу активної потужності:

$$(P_1 - \Delta P_{CT}) + (P_S - \Delta P_{POT} - \Delta P_{HB} - \Delta P_{ПППН} - \Delta P_{АН}) = P_H. \quad (1)$$

Режим В (Рис. 2, б). Відповідає надлишку потужності, що генерується. Режим виникає при низькому рівні споживання або при великій швидкості вітру, або при поєднанні цих умов. Надлишок потужності поступає на заряд АБ. Рівняння балансу активної потужності:

$$(P_1 - \Delta P_{CT}) + (P_S - \Delta P_{POT} - \Delta P_{HB} - \Delta P_{ПППН} - \Delta P_{АН}) = P_H + (P_{ЗАР} + \Delta P_{ЗРП} + \Delta P_{АБ}). \quad (2)$$

Режим С (Рис. 2, в). Відповідає нестачі потужності, що генерується. Режим виникає при слабкому вітрі в поєднанні з високим рівнем споживання. Нестача потужності покривається з акумулятора. Рівняння балансу активної потужності:

$$(P_1 - \Delta P_{CT}) + (P_S - \Delta P_{POT} - \Delta P_{HB} - \Delta P_{ПППН}) + (P_{РОЗ} - \Delta P_{АБ} - \Delta P_{ЗРП}) - \Delta P_{АН} = P_H. \quad (3)$$

Режим D (Рис. 2, г). Режим виникає за відсутності енергоспоживання. Уся потужність, що генерується, поступає на заряд АБ. Рівняння балансу активної потужності:

$$(P_1 - \Delta P_{CT}) + (P_S - \Delta P_{POT} - \Delta P_{HB} - \Delta P_{ПППН} - \Delta P_{АН}) = P_{ЗАР} + \Delta P_{ЗРП} + \Delta P_{АБ}. \quad (4)$$

Режим Е (Рис. 2, д). Режим виникає за відсутності вітру. Система працює як джерело безперебійного енергопостачання за відсутності напруги в мережі. Рівняння балансу активної потужності:

$$P_{РОЗ} - \Delta P_{АБ} - \Delta P_{ЗРП} - \Delta P_{АН} = P_H. \quad (5)$$

Режим F (Рис. 2, е). Режим виникає під час пуску вітротурбіни за наявності енергоспоживання. Система працює як джерело безперебійного енергопостачання за відсутності напруги в мережі. Рівняння балансу активної потужності:

$$P_{РОЗ} - \Delta P_{АБ} - \Delta P_{ЗРП} - \Delta P_{АН} = P_H + P_{МЕХ} + \Delta P_{POT} + \Delta P_{CT} + \Delta P_{HB} + \Delta P_{ПППН}. \quad (6)$$

Режим G (Рис. 2, ж). Також пусковий режим, але без енергоспоживання. Рівняння балансу активної потужності:

$$P_{РОЗ} - \Delta P_{АБ} - \Delta P_{ЗРП} - \Delta P_{АН} = P_{МЕХ} + \Delta P_{POT} + \Delta P_{CT} + \Delta P_{HB} + \Delta P_{ПППН}. \quad (7)$$

Режим H (Рис. 2, з). Рекуперуюче навантаження при наявності генерації. Рівняння балансу активної потужності:

$$(P_1 - \Delta P_{CT}) + (P_S - \Delta P_{POT} - \Delta P_{HB} - \Delta P_{ПППН}) + P_{РЕК} - \Delta P_{АН} = P_{ЗАР} + \Delta P_{ЗРП} + \Delta P_{АБ} + \Delta P_{ЧОП} + P_{ЧОП}. \quad (8)$$

Очевидно, що наявність рекуперації з навантаження порушує енергетичний баланс системи, тому, при наявності такого режиму, розробник повинен передбачити встановлення в ланці постійного струму чопера – додаткового транзистора з гальмівним резистором, на якому буде розсіяно надлишок енергії.

Вибір обладнання автономної ВЕУ. Згідно режиму А, потужність трьох генераторів дорівнює номінальній потужності навантаження.

Номінальна потужність АІН визначається режимом Е, та дорівнює потужності навантаження.

Аналогічно потужності навантаження, згідно з режимом Е, дорівнюватиме й потужність ЗРП.

Потужність НВ та ІППН визначається з режиму D, та дорівнює потужності ковзання АГФР в номінальному режимі [8].

При наявності рекуперації з навантаження, потрібен чопер та гальмівний резистор на цю потужність, як це визначає режим H.

Кожен прилад повинен обиратися з запасом, вважаючи його ккд, коефіцієнт використання, проектне перевантаження, можливі аварійні процеси.

Висновки. Отримані рівняння балансу активної потужності дозволяють розробнику обрати обладнання для електромеханічної системи автономної ВЕУ з АДМ на базі АГФР зі збудженням від інвертора напруги. В результаті аналізу режимів роботи ВЕУ виявлено, що, при наявності рекуперуючого навантаження додатково потрібно встановлення чопера та гальмівного резистора для розсіювання надлишку енергії.

Список використаних джерел

1. <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>. Renewables 2023 Analysis and forecasts to 2028. 06.05.2024.
2. Голубенко Н.С. Ветровая электрическая турбогенераторная установка ТГ-750 / Н.С. Голубенко, В.Е. Олишевская, С.Д. Курдюков, Г.С. Олишевский, С.С. Курдюков // Наука та інновації. – 2008. – 4, № 6. – С. 71-77.
3. Lundberg S. Performance comparison of wind park configurations. Technical report. Department of Electric Power Engineering CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Goteborg, Sweden 2003. 202p.
4. Алексієвський Д.Г. Синтез електромеханічних систем вітроенергетичних установок з аеродинамічним мультиплікуванням. – Дис. ... доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи» - Запорізький національний університет, Запоріжжя, 2020. – 331 с.
5. Пат. 26494 Україна, МПК H02K 17/34 (2007.01). Автономна вітроелектрогенеруюча система / Алексієвський Д.Г., Буров О.М., Веселов К.І., Омельчук Н.А., Переверзев А.В., Семенов В.В., Стрункін Г.М., Таранець А.В. Заявлено 11.05.2007; Опубл. 25.09.2007. Бюл. №15.
6. Стрункін Г.М. Застосування пристроїв силової електроніки – Дніпро: Середняк Т. К., 2024, – 408 с. ISBN 978-617-8139-59-9.
7. Переверзев А.В., Алексеевский Д.Г., Семенов В.В., Буров А.Н., Стрункин Г.Н., Таранец А.В. Об использовании крановых асинхронных двигателей в качестве генераторов для автономных ВЭУ. / Електротехніка та електроенергетика. – 2008. - №1. – С.20-23.
8. Вольдек А.И. Электрические машины. Л.: Энергия, 1978. – 832 с.

СЕКЦІЯ 1. АВТОМАТИКА, ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ І ПРИСТРОЇ

УДК 654.9

Бойко Л.М., керівник – Дьяконов О.С., к.т.н., доц.

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

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЯМИ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

Якість життя в державі залежить від людей, що в цілому забезпечують її функціонування своєю працею. І чим якісніші результати праці, тим якісніші та доступніші блага для людей - людей, що і являються основою нашої держави.

В свою чергу, держава для гарантування безпечного та комфортного життя та умов праці за допомогою законів, правил тощо робить усе, щоб захистити права та зберегти здоров'я своєї нації.

Отже, повітря в спальних приміщеннях має дуже важливе значення для здоров'я людини. Під час сну людина дихає повітрям, що містить у своєму складі певні концентрації пилу, мікроорганізмів, хімічних речовин та інші складові що забруднюють його і можуть викликати різні захворювання, такі як астма, алергія, різноманітні респіраторні інфекції тощо. Людина під час сну не в змозі відчувати погіршення повітря та якимось чином на це реагувати, тому дуже важливо цей процес моніторити та проводити втручання та реагування на суттєву зміну якості повітря від затверджених санітарних норм.

Метою даної роботи є розробка такого пристрою моніторингу якості повітря в спальних приміщеннях для особового складу чергової зміни пожежно-рятувальних підрозділів Державної служби з надзвичайних ситуацій України, який повинен інтегруватися до системи «Розумна пожежна частина» та являтися одним із елементів системи керування, яка забезпечує належну якість повітря.

Огляд існуючих систем моніторингу якості повітря в приміщеннях. Згідно нормативних документів караульне приміщення (приміщення чергової зміни) має бути розміщене поблизу гаража і мати вихід безпосередньо у гараж. Двері караульного приміщення обладнуються пристроями для захисту приміщення від проникнення до нього вихлопних газів і пари бензину з гаража. Отже, караульне приміщення знаходиться в безпосередній дотичності до приміщення, у якому з певною періодичністю різко підвищується концентрація шкідливих хімічних сполук для дихання людини.

Формування загальних вимог до пристрою. Враховуючи необхідність інтеграції даного пристрою до системи «Розумна пожежна частина» формуємо перелік технічних вимог:

- пристрій будується на мікроконтролері із встроєним безпроводним модулем;
- передача даних відбувається по безпроводній технології;
- протокол обміну використовується MQTT;
- робота з датчиками температури, вологості, CO₂;
- можливість реалізації підключення до пристрою додаткових цифрових датчиків, сенсорів або виконуючих пристроїв;
- живлення пристрою 12 В;
- наявність екрану достатнього розміру, для відображення показників температури, вологості та рівня CO₂;
- режим роботи пристрою: 24/7/365.

Розробка апаратної частини. Для даного проекту були обрані наступні датчики: DHT22 – датчик температури та вологості, MH-Z19 – датчик CO₂, MQ-9 – датчик загазованості.

Мікроконтролер є центральним процесором пристрою моніторингу якості повітря в спальному приміщенні. Він керує датчиками, здійснює обробку даних та подальшу передачу їх на центральний вузол.

При виборі мікроконтролера слід враховувати наступні фактори:

- швидкість обробки даних. Мікроконтролер повинен мати достатню швидкість обробки даних, для забезпечення точних вимірювань;
- обсяг пам'яті. Мікроконтролер повинен мати достатній обсяг пам'яті для зберігання даних, програмного забезпечення та тимчасових даних, які обробляються та зберігаються в оперативній пам'яті;
- підтримка безпроводної передачі даних. Мікроконтролер повинен мати можливість використовувати безпроводну передачу даних, використовуючи технологію Wi-Fi або Bluetooth.

Для пристрою моніторингу якості повітря в спальному приміщенні, який буде використовуватися WI-FI в якості технології передачі даних, найбільш підходящим варіантом є мікроконтролер ESP8266. Він має достатню швидкість обробки даних, обсяг пам'яті і підтримку безпроводної передачі даних. Крім того, ESP8266 є відносно недорогим і простим у використанні.

Схема підключення датчиків до мікроконтролеру наведена на рис. 1.

Для розміщення елементів модуля використано готовий пластиковий корпус, в якому закріплено гніздо живлення на 12 В, датчики та табло. В якості плати використана раніше спроектована власна універсальна плата, що зображена на рис 2. На рис. 3 наведено зображення готового пристрою у корпусі, а на рис. 4 – розміщення компонентів пристрою в корпусі.

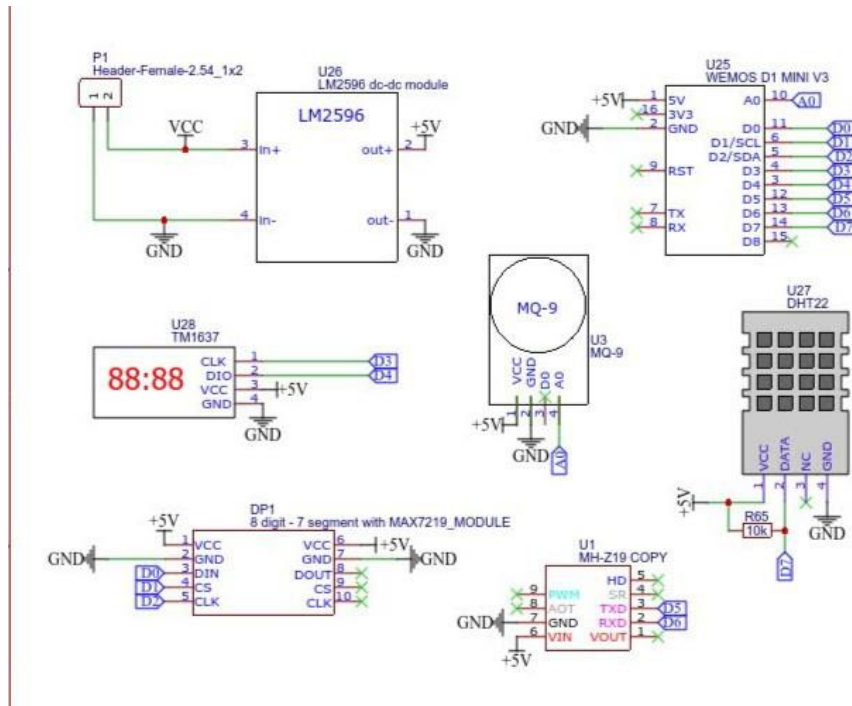


Рисунок 1 – Схема підключення датчиків до мікроконтролера

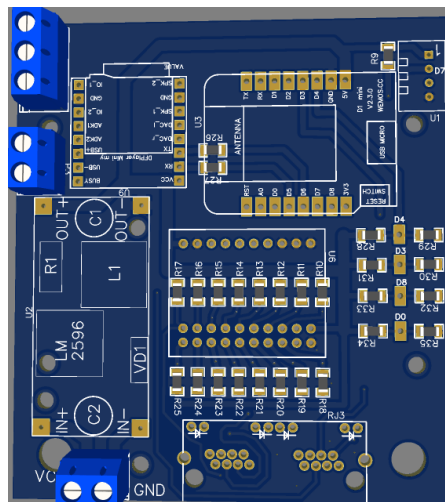


Рисунок 2 – Універсальна друкована плата



Рисунок 3 – Фото готового пристрою в корпусі

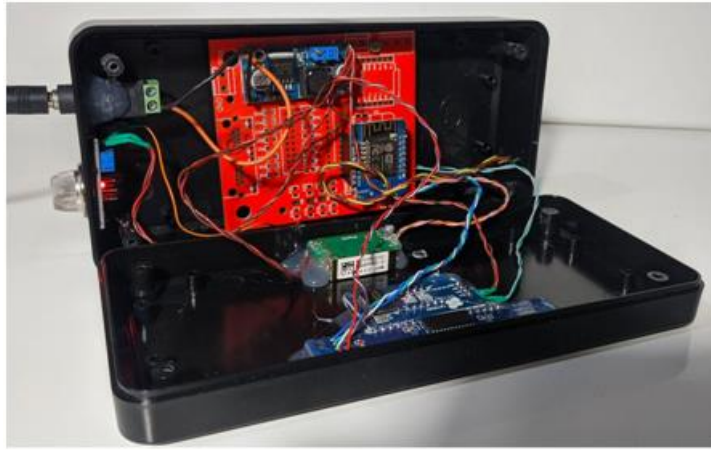


Рисунок 4 – Розміщення компонентів пристрою в корпусі

Розробка програмної частини. Для програмування розробленого пристрою використовувався сучасний потужний інструмент – фреймворк PlatformIO в редакторі коду Visual Studio Code. Даний фреймворк розповсюджується на безкоштовній основі, має безліч додаткових плагінів, займає мало місця, швидко працює та нівелює усі недоліки Arduino IDE.

Так, як даний пристрій являється окремим і одночасно самодостатнім та незалежним модулем, що має можливість підключатися до мережі Інтернет та передавати отримані дані від датчиків, а також потенційно і приймати управляючі команди, то він повинен підключатися до мережі WI-FI. Після успішного підключення до мережі, проходить перевірка на доступність MQTT-сервера, на який будуть відправлятися показники. При успішному підключенні до MQTT-серверу, із заданим інтервалом проходить опитування датчиків та відправка їх у відповідні топіки MQTT-серверу. Якщо втрачається зв'язок із мережею або MQTT-сервером, то відправка даних припиняється поки не відновиться зв'язок. Також, після успішної відправки даних, проводиться виведення цих даних на власний екран.

Враховуючи алгоритм роботи пристрою, є необхідність проводити настройки параметрів роботи пристрою без обов'язкового прошивання нових параметрів, а використовувати енергонезалежну пам'ять для зберігання установочних параметрів. Для цього, в прошивку додано безкоштовний фреймворк для створення інтерфейсу налаштування пристрою та режиму його роботи.

Інтерфейс має 5 сторінок. На рис. 5 показаний інтерфейс головного меню, який має розділи: «Головна», «Конфігурація», «WiFi», «Про програму» та «Вихід».

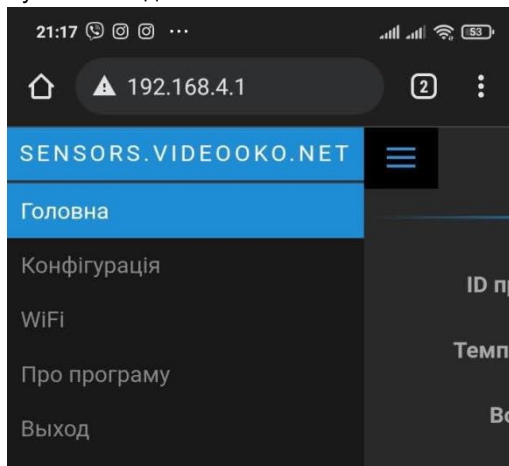


Рисунок 5 – Інтерфейс меню веб-інтерфейсу

В розділі меню «Головна» відображається наступна інформація (рис. 6):

1. ID пристрою - унікальний номер пристрою.
2. Температура - поточне значення з датчика температури DHT22.
3. Вологість - поточне значення з датчика DHT22.
4. CO₂ - поточне значення з датчика MH-Z19;
5. Дим - поточне значення з датчика MQ-9.
6. Час включення - час від початку включення пристрою.
7. MAC - унікальна мережева адреса Wi-Fi модуля ESP8266.
8. Сигнал Wi-Fi - рівень сигналу.
9. Вільно ОЗУ - кількість вільної оперативної пам'яті ESP8266.

10. Кнопка «Перезагрузка» - яка дозволяє віддалено перезавантажити пристрій.

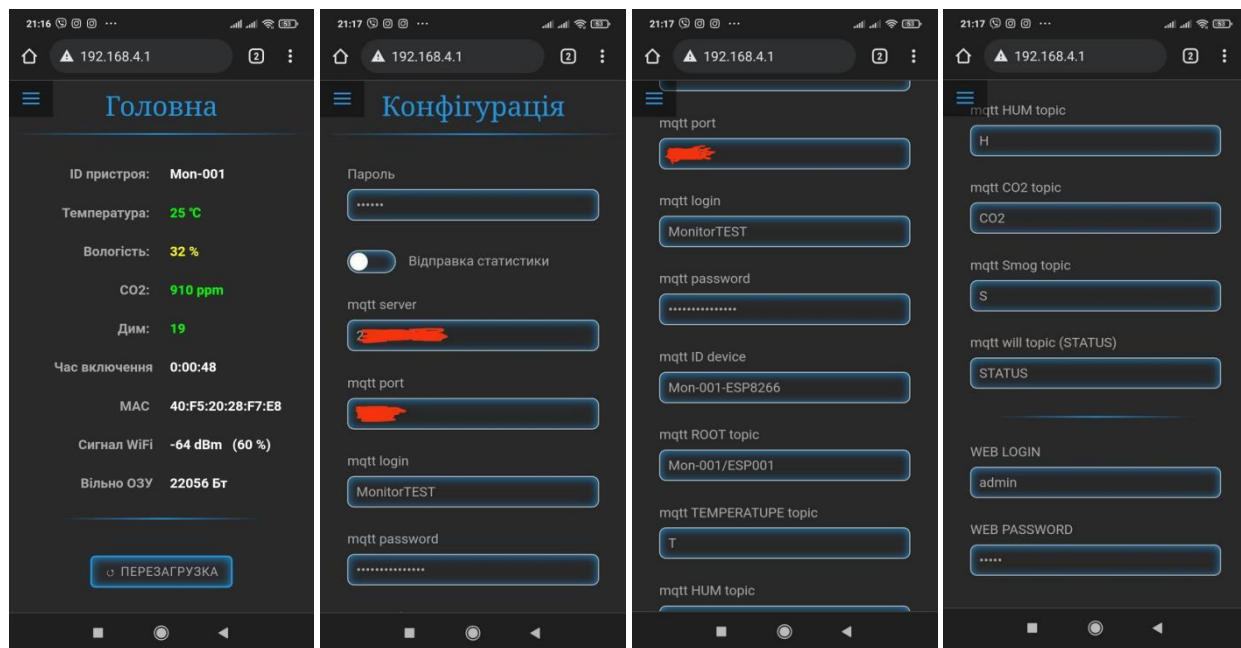


Рисунок 6 – Меню «Головна» та меню «Конфігурація» веб-інтерфейсу

Висновки. Однією з ключових проблем, які вирішує наш пристрій, є недостатня увага до якості повітря в спальних приміщеннях пожежних підрозділів. Забруднене повітря може впливати на здоров'я працівників, що може негативно впливати на їхню працездатність та загальний стан здоров'я.

У цілому, цей проект є важливим кроком у напрямку поліпшення умов роботи співробітників пожежних служб шляхом використання сучасних інноваційних рішень. Застосування новітніх технологій у сфері моніторингу якості повітря дозволяє забезпечити найвищий рівень безпеки та здоров'я працівників, що є вкрай важливим аспектом в їхній професійній діяльності, яка безпосередньо разом із здоров'ям співробітників підвищує їх фізичний стан для подальшого забезпечення оперативного реагування в професійній діяльності результатом якої є спасіння життя. Основні характеристики розробленої системи:

1. Ефективність системи моніторингу. Розроблений пристрій показав високу ефективність у виявленні та моніторингу різноманітних забруднень у повітрі, таких як дим, газ, CO2 та інші шкідливі речовини. Інтегровані сенсори та алгоритми аналізу дозволяють оперативно реагувати на зміни у складі повітря та при необхідності сповіщати працівників про досягненні небезпечних для здоров'я концентрацій хімічних складових повітря.

2. Ергономіка та простота використання. Проект був створений із врахуванням особливостей роботи пожежних служб, тому пристрій легко інтегрується в спальні приміщення та не створює додаткового труднощів для працівників при його використанні. Його інтерфейс і система сповіщень розроблені так, щоб бути зрозумілими та легкими в управлінні.

3. Вартість та економічна доцільність. Пристрій є відмінним варіантом для оптимізації потенційних витрат на медичне обладнання та збереження здоров'я працівників. Вартість виробу повністю виправдовується його можливостями та користю, яку він приносить у забезпеченні безпеки працівників.

4. Перспективи розвитку. Розроблений пристрій має потенціал для подальших покращень та розширень функціональності. Можливості Інтернету речей та збільшеної обробки даних можуть бути використані для створення ще більш продуктивної системи моніторингу та бути не від'ємною частиною загальної системи «Розумна пожежна частина».

Список використаних джерел

1. Наказ МНС України від 07.05.07 № 312 «Про затвердження Правил безпеки праці в органах і підрозділах МНС України».
2. Закон України «Про охорону праці». Редакція від 24.08.2024 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>
3. Блог пожежного айтишника. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://videooko.net>
4. Започатковано проєкт «Розумна пожежна частина» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=9PNAfwZrxJA>
5. Рятувальники презентували журналістам проєкт «Розумна державна пожежно-рятувальна частина» та провели брифінг на протипожежну тематику (ВІДЕО). Головне управління ДСНС України у Миколаївській області. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://mk.dsns.gov.ua/uk/news/ostanni-novini/29498>

УДК 654.9

Крижановська О.Л., керівник – Дьяконов О.С., к.т.н., доц.

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

РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ НАГЛЯДУ ЗА МІКРОКЛІМАТОМ ПРИМІЩЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ARDUINO

Вступна частина. Контроль клімату в приміщеннях є важливим завданням, оскільки він допомагає підтримувати комфортні умови для життя людей і збереження навколишнього середовища. З урахуванням зростання енергоефективності, розвитку Інтернету речей та розумних технологій, системи управління кліматом набувають все більшого значення в будівництві та побуті.

Контроль клімату включає в себе такі заходи, як:

- охолодження і опалення будівель: Контроль клімату в будівлях допомагає підтримувати комфортну температуру та вологість повітря, що важливо для здоров'я людей і продуктивності праці;
- використання відновлюваних джерел енергії (відновлювані джерела енергії, такі як сонячна та вітрова енергія, допомагають зменшити викиди парникових газів, які сприяють зміні клімату);
- впровадження екологічно чистих технологій (екологічно чисті технології, такі як енергоефективні лампи та водозберігаючі пристрої, допомагають зменшити споживання енергії та ресурсів).

На фоні стрімкого розвитку інновацій у галузі «розумного будівництва» та розширення можливостей сучасних технологій, розуміння та впровадження систем клімат-контролю стає необхідністю для оптимізації використання енергії та створення комфортних умов для життя та праці. Дослідження в даній області має важливе значення для розуміння сучасних тенденцій, вибору оптимальних рішень та покращення якості нашого повсякденного середовища.

Метою роботи є дослідження та використання наявного обладнання та програмного забезпечення для створення власної системи дистанційного моніторингу та контролю температури та вологості в приміщенні з використанням датчиків температури та вологості DHT22, Arduino UNO та ESP8266. Об'єкт дослідження - система дистанційного моніторингу, предмет дослідження - використання обладнання та програмного забезпечення для створення системи дистанційного моніторингу та контролю температури та вологості в приміщеннях.

Аналіз існуючих систем контролю клімату. Існуючі системи контролю клімату мають ряд переваг, таких як комфорт, безпека та економічність. Однак вони також мають ряд недоліків, таких як:

- вартість. Системи контролю клімату можуть бути досить дорогими, особливо для великих будинків або підприємств;
- складність установки та обслуговування. Системи контролю клімату можуть бути складними в установці та обслуговуванні, особливо якщо вони мають багато компонентів.
- негнучкість. Існуючі системи не дозволяють інтегрувати пристрої з різними системами і пристроями. Це є важливим недоліком, який може обмежити можливості і зробити систему менш гнучкою.

Серед поширених систем автоматизації можна виділити такі системні рішення:

- Smartsys.team – це українська компанія, яка спеціалізується на розробці та реалізації систем «розумного будинку». Компанія пропонує широкий спектр послуг, включаючи проектування, монтаж, налаштування та обслуговування систем «розумного будинку»;
- Gravity.com – це українська компанія, яка пропонує систему «розумного будинку» для сучасного рішення, яке може зробити життя більш комфортним, безпечним та економічним. Системи реалізуються за допомогою сучасних технологій, таких як Інтернет речей (IoT), автоматизація та штучний інтелект (AI).

Розробка системи моніторингу. Принципова схема системи моніторингу наведена на рис. 1.

До складу системи входять:

1. Arduino UNO і мережевий шилд W5500.
2. Датчик температури та вологості DHT22.
3. Понижувач напруги DC-DC LM2596.
4. Датчик чадного газу MQ-7.

Для ефективної розробки програмного забезпечення для мікроконтролерів важливо було обрати інструмент, який не обмежує можливості. У роботі було надано перевагу фреймворку PlatformIO, який інтегрується в редактор коду Visual Studio Code. Цей інструмент не лише надає безкоштовний функціонал, але також має ряд додаткових плагінів, оптимізованих для швидкої та зручної розробки.

Розробка веб-інтерфейсу. Після успішного з'єднання з мережею Wi-Fi, пристрій автоматично перевіряє доступність MQTT сервера. Якщо сервер доступний, пристрій розпочинає регулярні періодичні опитування датчиків та відправку отриманих даних в відповідні топіки на MQTT сервер. У випадку втрати зв'язку з мережею або MQTT сервером, передача даних автоматично призупиняється до відновлення з'єднання.

Дані від датчиків передаються на веб-сервер Home Assistant, де вони зберігаються та аналізуються. Аналіз даних проводився за допомогою інструментів Home Assistant.

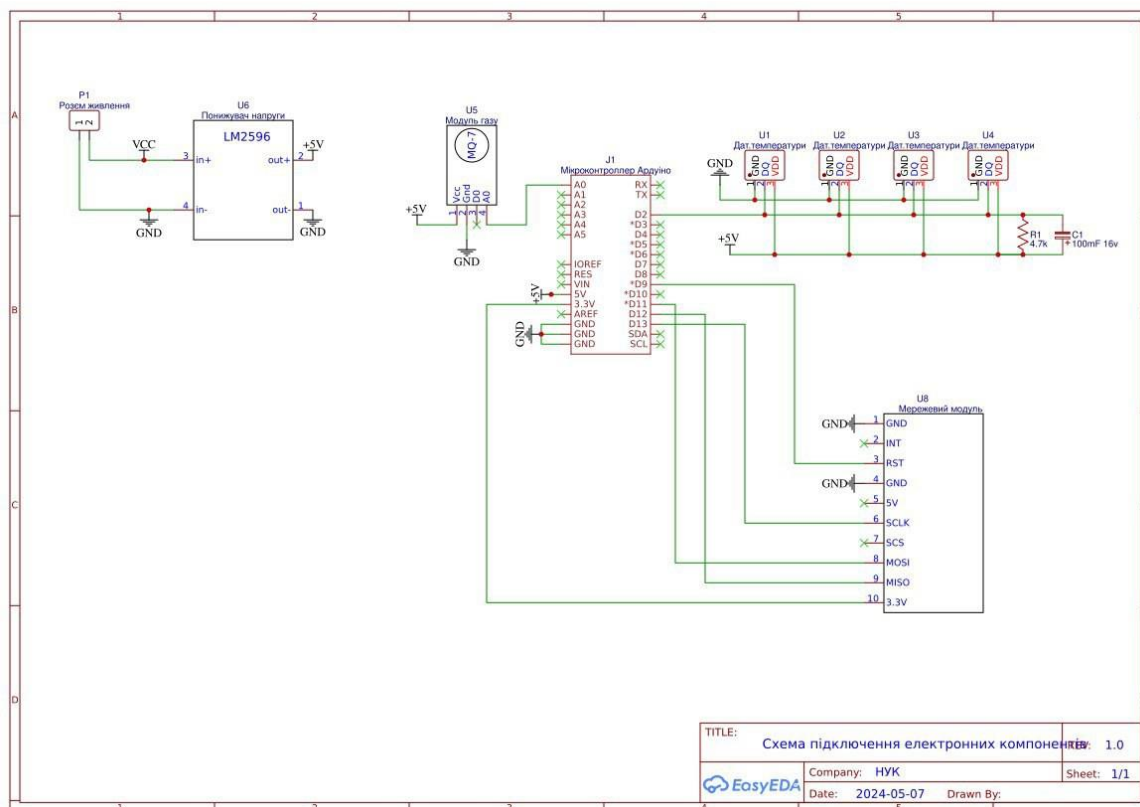


Рисунок 1 – Принципова схема системи моніторингу

Загальний вигляд зібраного пристрою наведений на рис 2.



Рисунок 2 – Загальний вигляд зібраного пристрою

Переваги Home Assistant:

1. Масштабованість: Home Assistant є відкритим програмним забезпеченням, яке можна налаштувати на будь-яку потребу. Це означає, що його можна використовувати для створення систем розумного будинку різного масштабу та складності.
2. Можливість інтеграції з різними пристроями: Home Assistant підтримує широкий спектр пристроїв розумного будинку, включаючи датчики, освітлення, термостати та багато іншого. Це означає, що його можна використовувати для створення систем, які включають у себе пристрої різних виробників.
3. Простота використання: Home Assistant має простий у використанні інтерфейс, який можна налаштувати за допомогою веб-браузера. Це означає, що його можна використовувати навіть тими, хто не має досвіду роботи з програмним забезпеченням розумного будинку.

Після встановлення Home Assistant було налаштовано його для підключення до мережі Wi-Fi. Конфігурація кожного датчика була описана у файлі в `mqtt.yaml` (рис. 3). Використання конфігураційних файлів дозволяє, наприклад, налаштувати інтервал вимірювання температури так, щоб він відповідав потребам конкретного приміщення. Також можна налаштувати точність вимірювання температури, щоб вона була достатньою для конкретних цілей.

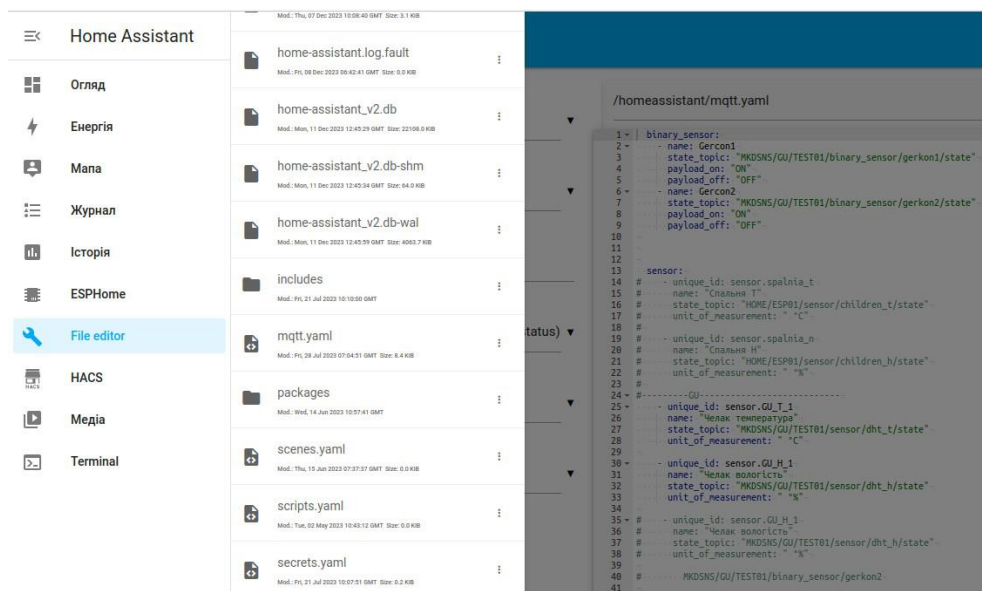


Рисунок 3 – Конфігурація датчиків у Home Assistant

Після додавання датчиків було створено карту (рис. 4), яка показує температуру та вологість у приміщенні. Графік (рис. 4) показує, як температура та вологість змінюються протягом дня. Це допомагає стежити за тим, щоб температура та вологість у приміщенні були в оптимальному діапазоні.

На основі аналізу даних було встановлено, що температура в приміщеннях відповідає нормам. Середня температура в приміщенні становить 22 °С. Максимальна температура становить 25 °С, а мінімальна температура становить 19 °С. Вологість повітря в приміщеннях також відповідає нормам. Середня вологість повітря становить 50%. Максимальна вологість повітря становить 60%, а мінімальна вологість повітря становить 40%.



Рисунок 4 — Графік вимірюваної температури

Висновки. Температурний моніторинг є важливим інструментом для контролю стану обладнання та систем у приміщеннях. Він може використовуватися для різних цілей, таких як забезпечення комфортного мікроклімату, запобігання пошкодження обладнання та виявлення можливих несправностей. У роботі була розроблена система моніторингу температури та вологості, загазованості в приміщенні. Модернізована система дозволяє інтегрувати пристрої з різними системами і пристроями. Розроблена система також є більш доступною. Це досягається за рахунок використання недорогих і доступних пристроїв на базі мікроконтролера Arduino UNO.

Список використаних джерел

1. Gast, M. S. 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide. O'Reilly Media, 2018. – 464 p.
2. Hillar, G. C. MQTT Essentials: A Lightweight IoT Protocol. Packt Publishing. 2017. – 200 p.
3. Home Assistant. Офіційна документація. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.home-assistant.io/docs/>
4. SmartSys. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://smartsys.team/ru/home/>
5. Gravity. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://gravity.com.ua/ru/smarthome/climatecontrol/>

УДК 631.171

*Мосійчук К.С., керівник – Дьяконов О.С., к.т.н., доц.**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв***РОЗРОБКА МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО ЗЧИТУВАЧА БЕЗКОНТАКТНИХ RFID-КАРТОК**

Сучасний розвиток інформаційних технологій і систем автоматизації вимагає впровадження новітніх рішень для ідентифікації та контролю доступу. RFID-технологія (Radio Frequency Identification) є одним із провідних підходів у цій сфері завдяки своїй надійності, зручності використання та широкому спектру застосувань. Ця технологія застосовується у системах контролю доступу та безпеки у багатьох сферах, як на пропускних пунктах, паркінгах, у системах розумного дому, для обмеження доступу до приміщень, ідентифікації людей, також може використовуватися для автоматизації інвентаризації, обліку товару. Технологія RFID має багато переваг, у порівнянні з штрих-кодами або QR-кодами.

- набагато більший об'єм пам'яті;
- відсутня необхідність прямої видимості мітки, її можна прочитати крізь різні поверхні;
- інформацію на мітках можна перезаписувати;
- якщо використовується активна мітка, дальність зчитування може досягати десятки метрів;
- у деяких зчитувачах існує антиколізія, що дозволяє одночасно зчитувати декілька карток;
- вони більш надійні та довговічні;
- вони мають механізми захисту інформації, криптографії.

Метою даної роботи є розробка та проектування ефективного RFID-зчитувача, здатного забезпечити надійну передачу даних на великі відстані.

Огляд існуючих технологій RFID. RFID-система складається з двох головних елементів: зчитувача та мітки. Мітки бувають активними та пасивними, в залежності від наявності або відсутності живлення. Мітки складаються з антени, яка підтримує зв'язок, та інтегральної схеми, яка і відповідає за прийом/передачу та збереження інформації. Мітки працюють у різних частотах:

1. Від 125 до 134 кГц – мітки низької частоти LF.
2. 13,56 МГц – мітки високої частоти HF.
3. Від 860 до 960 МГц – мітки ультрависокої частоти UHF
4. 2,45 ГГц – мікрохвильові мітки.

Зчитувач ж складається з декількох елементів:

1. Антена, яка приймає та передає сигнал.
2. Блок управління, який складається з приймача/передавача, пам'яті, та мікропроцесора.
3. Джерело живлення.

Існує багато різновидів RFID-зчитувачів. Є стаціонарні зчитувачі, що кріпляться до певних поверхонь, наприклад, до стін, мають більшу зону читання, ніж інші, більш потужні. Існують переносні, мобільні зчитувачі, що мають меншу дальність дії, а також настільні та портальні. Також існує безліч стандартів карток та зчитувачів:

- EM-Marine, працюють на частоті 125 кГц, мають лише 40 біт пам'яті, у яку записано унікальний номер. Має дуже слабкий ступінь захисту.

- Mifare, який сам має багато сімейств, починаючи від Mifare Classic, що мають чотирьохбайтний NUID, 1 кБ енергонезалежної пам'яті EEPROM, строк придатності 10 років та до 100000 циклів запису, закінчуючи стандартом MIFARE DESFire EV1, що підтримують шифрування DES та AES128, а також мають до 8 кБ пам'яті. Працюють на частотах 13.56 МГц.

- HID, найбільш популярний протокол HID10301 має унікальний ключ, що складається з трьох байтів. Працюють як на 125 кГц, так і на 13.56 МГц.

У цій роботі буде використовуватися стандарт картки MIFARE Classic. Пам'ять цих міток розділена на 16 секторів, що захищені двома ключами, які надають можливість читати або записувати інформацію мітки. Картки MIFARE Classic працюють у режимі SL1, алгоритм CRYPTO1, шифрування секторів виконується 6-байтним ключем.

Апаратна частина. Структурна схема пристрою зображена на рис. 1. У якості блока контролю та управління використовується мікроконтролер STM32F446RE. У якості зчитувача RFID-карток використовується плата зчитувача на основі MFRC525. Картка пам'яті підключається за допомогою інтерфейсу SPI. Для передачі даних о зчитуванні на приймач використовується модуль Ebyte E32-433T20D на основі мікросхеми SX1278, що забезпечує дальність передачі 3 км у відкритому просторі. У блоці індикації використовується світлодіод.

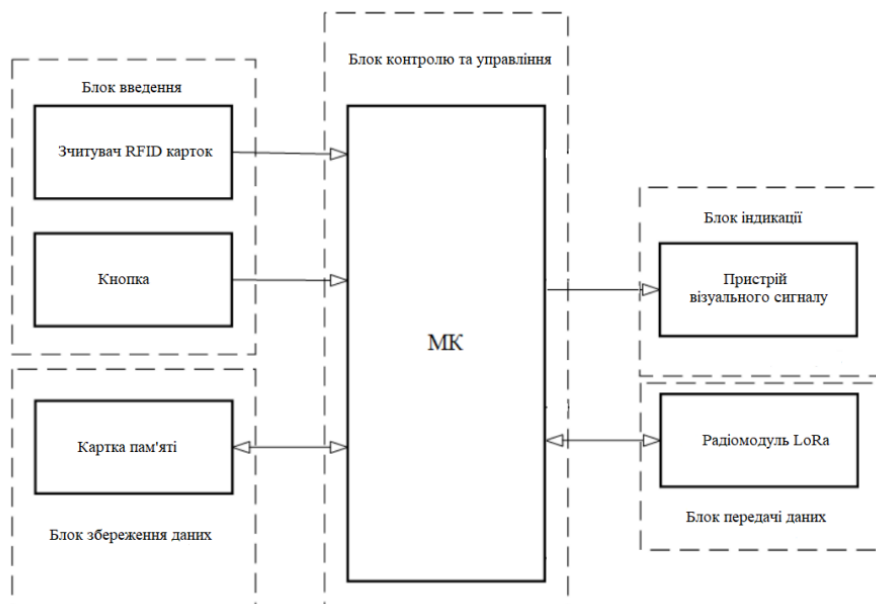


Рисунок 1 – Структурна схема пристрою

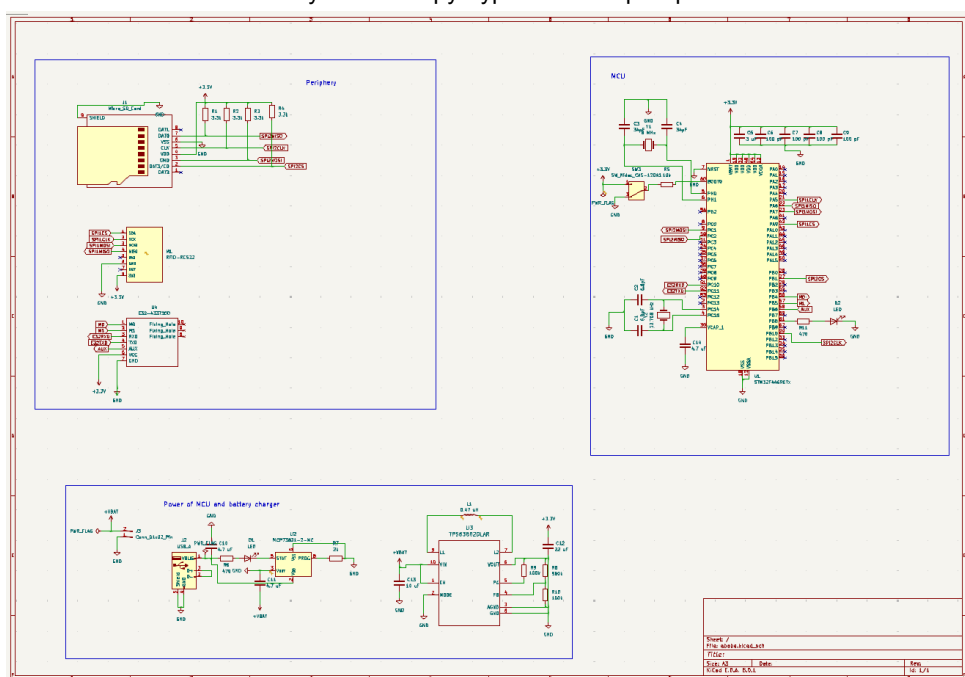


Рисунок 2 – Принципіальна схема зчитувача

Програмна частина. Алгоритм роботи програми має у собі декілька етапів:

- Ініціалізація. Відбувається ініціалізація картки пам'яті, годиннику реального часу, радіомодуля E32-433T20D та зчитувача MFRC522. Відбувається налаштування радіомодуля. З флеш-пам'яті зчитується кількість унікальних ключів та самі ключі.

- Перевірка режиму роботи, зчитуємоми ключі і відправляємо їх або записуємо їх у пам'ять контролера. За замовчуванням пристрій працює у режимі зчитування.

- Режим зчитування. Проходить перевірка, чи прикладена картка до зчитувача, чи знаходиться вона у його області досяжності. Якщо вона прикладена, то зчитується її унікальний ключ. Якщо цей ключ вже записаний у пам'ять, то це успішне зчитування. Зберігається час, у який це відбулося, порядковий номер картки та цей час відправляються радіомодулем на приймач. Факт зчитування записується на картку пам'яті, світлодіод блимає і користувач бачить, що зчитування пройшло успішно. Якщо у цьому режимі буде довгий натиск кнопки керування на 5 с, то пристрій перейде у режим запису до флеш-пам'яті.

- Режим запису до флеш-пам'яті. У цьому режимі також проходить перевірка того, прикладена картка чи ні. Якщо так, то перевіряється, чи вже записаний UID картки у пам'ять чи ні. Якщо ні, то виконується запис. Довгий натиск на кнопку керування (також 5 с) поверне пристрій до режиму зчитування.

Висновки. Був розроблений макет зчитувача, його принципіальна схема (рис. 2), була розроблена схема для автономного живлення пристрою завдяки літій-полімерному акумулятору. Була перевірена працездатність пристрою, всі задані у техзавданні функції працюють надійно. Також була перевірена дальність передачі інформації не в ідеальних умовах, а у міських умовах, що мають великий вплив на дальність. Були отримані задовільнені результати, дальність передачі значно перевищує дальність передачі аналогічних пристроїв. Результати роботи приведені на рис. 3 – 5.

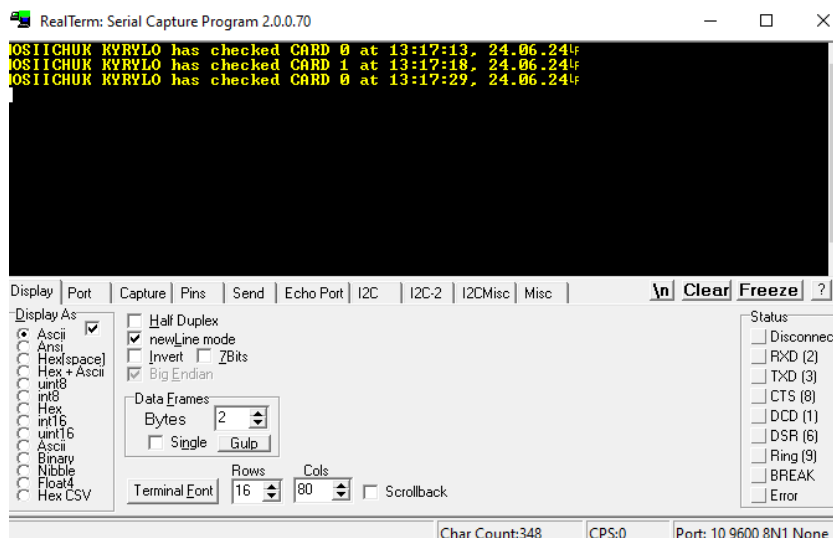


Рисунок 3 – Вікно терміналу з даними про прочитані мітки

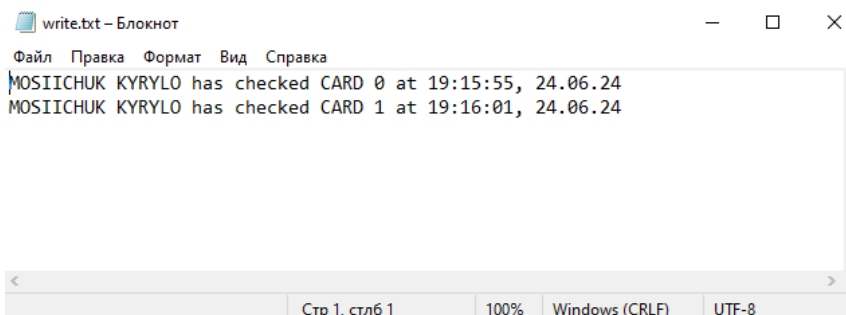


Рисунок 4 – Текстовий документ із записаною інформацією про зчитування міток

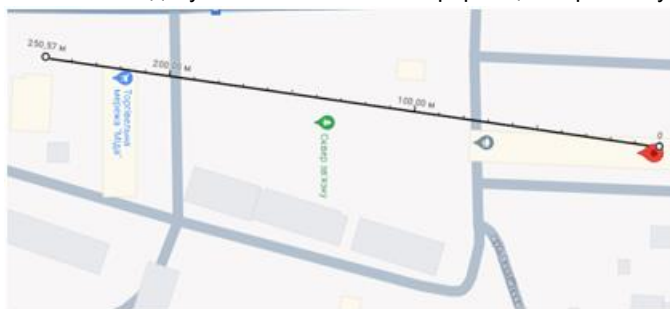


Рисунок 5 – Дальність передачі

Список використаних джерел

1. Magnetic Tag Antenna for UHF Near-field and Far-Field RFID Applications / M. Dhaouadi та ін. International Journal on Communications Antenna and Propagation (IRECAP). 2015. Т. 5, № 2. С. 119. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://doi.org/10.15866/irecap.v5i2.5802>.
2. A Broadband UHF TAG Antenna For Near-Field and Far-Field RFID Communications / M. Mabrouk et al. Radioengineering. 2014. Vol. 23, no. 4. P. 1 – 8. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.radioeng.cz/fulltexts/2014/Radioengineering_Mabrouk_Final_Version_14_3902_JA.pdf.
3. Radio Frequency Identification / ed. by P. C. Crepaldi, T. C. Pimenta. InTech, 2017. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://doi.org/10.5772/62606>.
4. Components of the RFID System. its-wiki.no. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://its-wiki.no/images/a/af/Components_of_the_RFID_System.pdf.
5. Финкенцеллер К. RFID технологии. Довідковий посібник. ДМК Прес, 2010. - 490 с.

УДК 681.5

Трешнюк А.І., Солобута Л.В., к.т.н., доц.

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

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЖИТЛОВИМ ПРИМІЩЕННЯМ MIKROTIK + ARDUINO

Автоматизоване управління набуває все більшої актуальності у сучасному світі. Зростаючі вимоги до комфорту, безпеки та енергоефективності житла стимулюють розвиток нових технологій. Автоматизація побутових процесів дозволяє оптимізувати використання ресурсів, підвищити рівень комфорту та створити більш безпечне середовище проживання [1].

Зростаюча доступність мікроконтролерів, бездротових технологій та хмарних сервісів сприяє розвитку IoT-пристроїв та систем автоматизації. Свідомість людей щодо екологічних проблем та високих цін на енергоносії стимулює пошук способів зниження енергоспоживання. Автоматизація побутових процесів дозволяє створити більш комфортне та інтуїтивно зрозуміле житло. Системи безпеки, інтегровані в розумний будинок, забезпечують захист майна та здоров'я мешканців [2].

Метою проєкту є розробка та реалізація системи автоматизованого управління житловим приміщенням на основі платформи PoE-коммутатора MikroTik, MikroTik cAP, IP-камер та мікроконтролерів Arduino з датчиками [3].

Аналіз основних завдань проєкту. Проєкт включає створення інтегрованої системи, автоматизація процесів, збір та аналіз даних, створення зручного інтерфейсу керування системою [4, 5].

MikroTik cAP пропонує широкий спектр можливостей для налаштування мережі, маршрутизації та управління пристроями (рисунок 1).

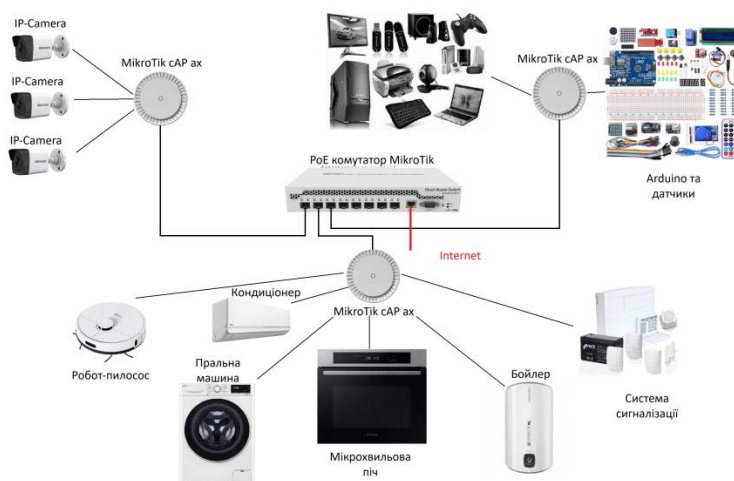


Рисунок 1 – Система автоматизації Mikrotik + Arduino

Основні функції MikroTik cAP:

- **Маршрутизація:** Забезпечує з'єднання між усіма пристроями в мережі.
- **DHCP-сервер:** Автоматично присвоює IP-адреси пристроям.
- **QoS:** Дозволяє пріоритизувати трафік, забезпечуючи безперебійну роботу критично важливих сервісів.
- **Скрипти:** Забезпечує гнучку автоматизацію задач та інтеграцію з іншими системами.

Протоколи зв'язку

Для обміну даними між MikroTik та Arduino використовуються різні протоколи:

- **MQTT:** Легкий та ефективний протокол для обміну повідомленнями, широко використовується в IoT.
- **HTTP:** Простий та зрозумілий протокол для передачі даних по мережі.
- **Serial:** Для прямого з'єднання Arduino.

Фрагмент програмного коду Arduino (MQTT):

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
```

```
// ... (Код для підключення до Wi-Fi, налаштування MQTT клієнта)
```

```
void loop() {
    // Зчитування даних з датчиків
    int temperature = readTemperature();
    int humidity = readHumidity();
```

```
// Формування повідомлення для MQTT
StaticJsonDocument doc;
doc["temperature"] = temperature;
doc["humidity"] = humidity;
String json;
serializeJson(doc, json);

// Публікація повідомлення в MQTT тему
client.publish("home/sensor_data", json.c_str());

// ... (інший код для керування системою)
}
```

Основні завдання конфігурації MikroTik:

- **Створення мережі:** Налаштування IP-адрес, маршрутизації, DHCP сервера.
- **Підключення MQTT:** Якщо обрано протокол MQTT, необхідно налаштувати підключення до брокера MQTT (наприклад, Mosquitto).
- **Створення скриптів:** Написання скриптів для обробки вхідних повідомлень від Arduino, виконання дій та відправки команд на інші пристрої.

Приклад скрипта на MikroTik для обробки MQTT повідомлень:

```
/queue simple
/queue simple add name=my_queue target=192.168.1.111 port=8866 protocol=mqtt
topic=home/sensor_data
/queue simple add action=script script=my_script
```

Скрипт my_script:

```
:log info "Received MQTT message: $message"
:local temp [/system script run parse-json $message temperature]
:local humidity [/system script run parse-json $message humidity]
```

// Логіка обробки даних та виконання дій

Розробка сценарію автоматизації на MikroTik:

```
/queue simple add name=my_script target=192.168.1.111 port=8866 protocol=mqtt topic=home/automation
/queue simple add action=script script=my_script
```

Скрипт my_script

```
:log info "Received automation request"
:local action [/system script run parse-json $message action]

:if ($action == "good_morning") do={
    # Команди для вмикання світла, кавомашини, відкриття штор
}
:else if ($action == "go_to_sleep") do={
    # Команди для вимикання світла, включення нічника, зміни температури
}
}
```

Висновок

Система на основі платформи MikroTik sAP та мікроконтролера Arduino забезпечує надійне та безпечне керування системами житлового приміщення. Розроблена система дозволяє підвищити комфорт проживання, зменшити витрати на енергоносії, забезпечити безпеку. Перспективними напрямками подальшого розвитку системи є розширення функціоналу, інтеграція з іншими системами, використання більш складних алгоритмів машинного навчання.

Список використаних джерел

1. Palamar A., Karpinski M., Palamar M., Osukhivska H., Mytnyk . Remote Air Pollution Monitoring SystemBased on Internet of Things. Proceedings of the 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2022). Ternopil, Ukraine, November 22-24, 2022. P. 194-204.
2. Shelgaonkar S.K. Creating a smart home environment with IOT driven home appliances. GRIN Verlag. 2016 p. 80 p.
3. Fawzi B., Kwok Wu. Collaborative Internet of Things (C-IoT): for Future Smart Connected Life and Business. John Wiley & Sons. 2015. 304 p.
4. ElNashar A., El-saidny M. Practical Guide to LTE-A, VoLTE and IoT: Paving the way towards 5G. John Wiley & Sons. 2018. 480 p.
5. Alam M., Shakil K., Khan S. Internet of Things (IoT): Concepts andApplications. Springer Nature. 2020. 526 p.
6. IoT: від «розумних» лампочок до передових технологій виробництва / Новини / IT українською URL: <http://it-ua.info/news/2016/06/21/iot-vd-rozumnih-lampochok-do-peredovih-tehnology-virobnictva.html> (дата звернення: 26.10.2024 р.).

УДК 004.896

Трешнюк А.І., керівник – Дьяконов О.С., к.т.н., доц.

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

ВИКОРИСТАННЯ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ 3D-ДРУКУ, В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ

У сучасному світі, де технології розвиваються з неймовірною швидкістю, освіта зазнає кардинальних змін. Індустрія висуває нові вимоги до підготовки фахівців, які мають володіти не лише теоретичними знаннями, а й практичними навичками роботи з сучасним обладнанням. Одним із таких інструментів є 3D-друк, який відкриває перед освітою безмежні можливості. Використання роботів-маніпуляторів, створених за допомогою 3D-друку, в освітньому процесі дозволяє не лише підвищити ефективність навчання, але й сформувати у студентів навички креативного мислення, проєктування та інженерії, які є ключовими для успіху в XXI столітті.

Роботи-маніпулятори – це універсальні механічні пристрої, які імітують рухи людської руки і призначені для виконання різноманітних операцій. Вони складаються з ланцюга послідовно з'єднаних ланок, які забезпечують широкий діапазон рухів. Залежно від конструкції та призначення, роботи-маніпулятори можуть бути класифіковані за ступенями свободи (*картезіанські, циліндричні, сферичні, суглобові*) та за сферою застосування (*промислові, медичні, дослідницькі, сервісні*).

Принцип роботи роботів-маніпуляторів базується на кінематиці, яка описує рухи ланок та робочої зони. Основними елементами роботів є з'єднання, приводи, виконавчі органи та датчики. Керування роботами здійснюється за допомогою комп'ютерних програм, які задають послідовність рухів і дій.

Переваги використання роботів-маніпуляторів:

- **Висока точність і повторюваність:** забезпечують високу якість виконання завдань.
- **Висока продуктивність:** дозволяють виконувати великі обсяги роботи за короткий час.
- **Безпека:** звільняють людей від виконання важких і шкідливих робіт.
- **Гнучкість:** можуть бути легко перепрограмовані для виконання різних завдань.

У виробничих умовах впровадження 3D-друкованих роботів-маніпуляторів оптимізувало операції, автоматизуючи повторювані завдання з неперевершеною точністю. Це не тільки підвищує ефективність, але й забезпечує безпечніше робоче середовище, мінімізуючи участь людини в небезпечних процесах. Гнучкість, притаманна цим роботам, дозволяє легко інтегрувати їх у існуючі виробничі лінії, дозволяючи виробникам оптимізувати робочі процеси та досягти вищого рівня продуктивності. Крім того, їхня доступність робить їх привабливими для малих і середніх підприємств, які прагнуть використовувати передові технології робототехніки без надмірних витрат.

Існує кілька основних **технологій 3D-друку**, кожна з яких має свої особливості та найкраще підходить для певних завдань:

- **Фузажне моделювання (FDM):** Найпоширеніший метод, при якому матеріал подається через екструдер і наноситься на платформу шар за шаром. Ідеально підходить для створення прототипів, корпусів та деталей, що не вимагають високої міцності.
- **Стереолітографія (SLA):** Використовується лазер для затвердіння рідкого фотополімеру. Забезпечує високу деталізацію та гладкість поверхні, що важливо для створення складних геометричних форм.
- **Селективне лазерне спікання (SLS):** Порошковий матеріал спікається лазером. Дозволяє працювати з різноманітними матеріалами, включаючи нейлон, метал і кераміку.
- **Цифрова світлова проєкція (DLP):** Подібна до SLA, але замість лазера використовується проєктор. Забезпечує високу швидкість друку.

Інтеграція датчиків, приводів і передових систем керування з 3D-друкованими компонентами революціонізує можливості роботів-маніпуляторів. Ця синергія не тільки підвищує їх продуктивність, але й надає їм більшої універсальності, що дозволяє їм вирішувати дедалі складніші завдання з безпрецедентною точністю та ефективністю. Використовуючи потужність платформ з відкритим кодом і спільні дослідницькі зусилля, робототехнічне співтовариство просуває еволюцію роботів-маніпуляторів, надрукованих 3D-друком, закладаючи основу для майбутнього, де автоматизація буде не тільки доступною, але й нескінченно адаптованою до різноманітних потреб і застосувань.

Конвергенція 3D-друкованих роботів-маніпуляторів із новими технологіями, такими як **штучний інтелект, машинне навчання та Інтернет речей (IoT)**, віщує трансформаційну еру в робототехніці. Вбудовуючи розширені когнітивні можливості в руки робота, ці інтеграції дозволяють виконувати складні завдання з рівнем точності, адаптивності та автономності, які раніше були недосяжними. Алгоритми штучного інтелекту та машинного навчання дозволяють цим роботизованим системам навчатися на основі своїх операцій, оптимізуючи їхню функціональність з часом і дозволяючи їм адаптуватися до нових завдань з мінімальним наглядом з боку людини. У той же час підключення до Інтернету речей сприяє безперебійному зв'язку між надрукованим на 3D-принтері маніпулятор робота та іншими пристроями та системами, сприяючи скоординованим діям і обміну даними в реальному часі.

Роботи-маніпулятори є популярними інструментами для навчання, хобі та невеликих виробництв. Кожен з них має свої особливості, які роблять його придатним для різних завдань. Вони відрізняються за ціною, складністю збірки, функціоналом, програмними можливостями та призначенням (табл.1).

Таблиця 1 – Порівняння роботів-маніпуляторів

	Niryo One	Arctos	Eezybotarm Mk2	MeArm	Kaуда
Характеристика					
Ціна	Середня (>\$1000)	Бюджетна (\$300-\$500)	Бюджетна (\$200-\$400)	Бюджетна (\$150-\$300)	Середня (\$500-\$1000)
Складання	Відносно просте, вимагає деяких інструментів	Дуже просте, інструменти не потрібні	Просте, інструменти не потрібні	Дуже просте, інструменти не потрібні	Просте, інструменти не потрібні
Ступені свободи	6 (3 обертання, 3 поступальних)	4-6 (залежить від моделі)	4 (3 обертання, 1 поступальна)	4 (3 обертання, 1 поступальна)	4-6 (залежить від моделі)
Максимальне навантаження	500 г	250-500 г	250 г	250 г	1 кг
Точність позиціонування	Висока	Середня	Середня	Середня	Висока
Швидкість руху	Середня	Середня	Середня	Середня	Висока
Програмування	Python (Niryo Studio), Blockly	Arduino IDE, C++	Arduino IDE	Arduino IDE, Python	Python (Kaуда Control), Blockly
Інтерфейси	USB, Ethernet, Wi-Fi	USB	USB	USB	USB, Ethernet
Додаткові функції	Машинний зір, симуляція, API	Розширюваність модулями, Arduino IDE	Розширюваність модулями, Arduino IDE	Розширюваність модулями, Arduino IDE	Модульність, машинний зір

Висновки. Використання роботів-маніпуляторів, створених за допомогою 3D-друку, в освітньому процесі відкриває перед студентами безмежні можливості для навчання та розвитку. Ця технологія дозволяє не лише ознайомитися з основами робототехніки, програмування та конструювання, але й розвиває такі важливі навички як креативне мислення, вирішення проблем, співпраця та критичне мислення.

Переваги використання 3D-друкованих роботів-маніпуляторів в освіті:

- **Доступність:** Можливість створення роботів з доступних матеріалів та за допомогою відносно недорогих 3D-принтерів робить цю технологію доступною для багатьох навчальних закладів.
- **Індивідуалізація навчання:** Кожен може створити свій власний робот, адаптувавши його під свої інтереси та рівень знань.
- **Практичний досвід:** Робота з роботами-маніпуляторами дозволяє отримати практичний досвід конструювання, програмування та управління роботами.
- **Розвиток творчих здібностей:** Створення власних проєктів стимулює до творчого мислення та пошуку нестандартних рішень.
- **Підготовка до майбутньої професії:** Навички, отримані при роботі з роботами-маніпуляторами, будуть корисними в багатьох сучасних професіях, пов'язаних з автоматизацією та робототехнікою.

Застосування 3D-друкованих роботів-маніпуляторів в освіті – це інвестиція в майбутнє, яка дозволить підготувати нове покоління інженерів, програмістів та інших фахівців, здатних вирішувати складні завдання в умовах постійно мінливого світу.

Список використаних джерел

1. Tuan D. Ngo, Alireza Kashani, Gabriele Imbalzano, Kate T.Q.Nguyen, David Hui, "Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges", Composites PartB: Engineering, 2018, pp. 172 - 196,
2. Pinar Urhal, Andrew Weightman, Carl Diver, Paulo Bartolo, "Robotassisted additive manufacturing: A review", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2019, pp. 335 – 345.
3. Bhatt, Prahar M. et al., "Expanding capabilities of additive manufacturing through use of robotics technologies: A survey", Additivemanufacturing, 2020, p. 100933.
4. Xu Zhang, Mingyang Li, Jian Hui Lim, Yiwei Weng, Yi Wei DanielTay, Hung Pham, Quang-Cuong Pham, "Large-scale 3D printing by a team of mobile robots", Automation in Construction, 2018, pp. 98 -1 06.
5. Робототехніка та 3D-моделювання підвищують якість підготовки спеціалістів технічних та інженерних спеціальностей. Новини МОН. Опубліковано 23 березня 2016. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://mon.gov.ua/news/robototekhnika-ta-3d-modelyuvannya-pidvishchuyut-yakist-pidgotovki-spetsialistiv-tekhnichnikh-ta-inzhenernikh-spetsialnostey>

УДК 621.396.934

Трешнюк А.І., керівник – Трибулькевич С. Л., старший викладач
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПРОТОКОЛІВ ДИСТАНЦІЙНОГО РАДІОКЕРУВАННЯ

Протоколи дистанційного радіокерування є невід'ємною частиною сучасних систем управління безпілотними літальними апаратами, автомоделями, роботами та іншими пристроями. Вони забезпечують надійний і ефективний зв'язок між пультом управління та об'єктом керування, передаючи команди та отримуючи дані про стан системи.

Розвиток безпілотних технологій, автоматизації та Інтернету речей призводить до зростання вимог до протоколів дистанційного радіокерування. Сучасні користувачі потребують високої швидкості передачі даних, великої дальності дії, низької затримки, стійкості до перешкод та безпеки.

Основний принцип роботи системи радіокерування полягає в передачі інформації про команди управління від пульта до приймача, встановленого на керованому об'єкті.

Процес передачі даних:

- **Модуляція:** Інформація, що передається (наприклад, положення стиків), модулюється на носійну частоту. Це дозволяє передавати дані на великі відстані.
- **Передача:** Модульований сигнал випромінюється антеною передавача.
- **Прийом:** Антена приймача вловлює радіосигнал.
- **Демодуляція:** Сигнал демодулюється, і видобувається інформація про команди.
- **Виконання команд:** Приймач передає команди виконавчим механізмам.

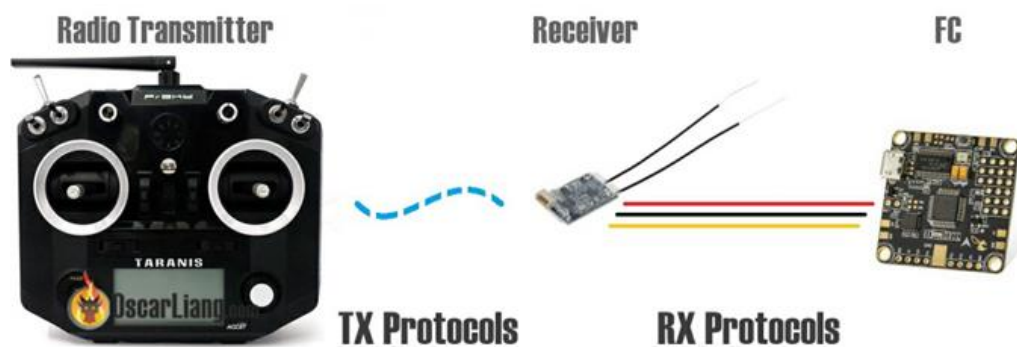


Рисунок 1 – Система дистанційного керування

Для **літаків** зазвичай використовують протоколи з високою швидкістю передачі даних та низькою затримкою, щоб забезпечити точне керування. Популярні протоколи: SBUS, DSMX, SUMD. **Гвинтокрили** вимагають ще більш високої швидкості реакції, тому часто використовують протоколи з найнижчою латентністю, такі як DSMX. Для **дронів** важлива дальність дії, стійкість до перешкод та можливість передачі телеметрії. Часто використовують протоколи LoRaWAN для довготривалого польоту та SBUS/DSMX для швидкого керування. Для **автомобілів** зазвичай використовують протоколи з середньою швидкістю передачі даних та хорошою стійкістю до перешкод. Популярні протоколи: PWM, PPM, SBUS. Для **кораблів** важлива дальність дії та стійкість до вологи. Часто використовують протоколи з високою потужністю передавача та надійним захистом від вологи, такі як DSMX або спеціалізовані морські протоколи.

Фактори, що впливають на вибір протоколу:

- **Швидкість реакції:** Для швидких маневрів потрібні протоколи з низькою латентністю.
- **Дальність дії:** Для великих моделей або польотів на великій відстані потрібні протоколи з високою потужністю передавача.
- **Кількість каналів:** Визначає кількість сервоприводів, які можна підключити.
- **Стійкість до перешкод:** Важливо для роботи в складних умовах.
- **Енергоспоживання:** Для моделей, що працюють від батарей, важливо мінімізувати споживання енергії.
- **Вартість:** Вартість обладнання також є важливим фактором.

Сучасні тенденції та перспективи розвитку протоколів дистанційного радіокерування

Світ радіокерованих систем зазнає значних змін. Відбувається перехід від аналогових протоколів (PWM, PPM) до цифрових (SBUS, DSMX, SUMD), які забезпечують вищу швидкість, стійкість до перешкод та додаткові функції, такі як телеметрія. Це дозволяє керувати моделями більш точно, на більшій відстані та отримувати більше інформації про їх стан. Збільшується дальність дії завдяки новим частотним діапазонам, потужнішим передавачам та інноваційним антенам. Також зростає кількість каналів, що дозволяє керувати більшою кількістю сервоприводів та створювати більш складні моделі.

Сучасні протоколи дозволяють передавати не лише команди управління, але й додаткову інформацію про стан моделі (напруга батареї, температура, GPS-координати). Це відкриває нові можливості для моніторингу польоту в реальному часі та прийняття обґрунтованих рішень. Радіокеровані системи все більше інтегруються з іншими технологіями, такими як GPS, Bluetooth, Wi-Fi. Це дозволяє віддалено керувати моделями, збирати дані та аналізувати їх. Важливим аспектом є підвищення безпеки. Шифрування даних та системи автоматичного повернення захищають моделі від несанкціонованого доступу та забезпечують їх безпечне повернення у разі втрати зв'язку. Відкриті протоколи сприяють розвитку співтовариства розробників та дозволяють створювати власне програмне забезпечення. Це відкриває широкі можливості для інновацій та адаптації систем під конкретні потреби. Штучний інтелект також знаходить своє застосування в радіокерованих системах. Він дозволяє створювати автономні моделі, які здатні приймати рішення самостійно.

Таблиця.1 Порівняння типів модуляції в протоколах RC

Тип модуляції	Опис	Переваги	Недоліки	Застосування в RC	Додаткові характеристики
PWM (Широтно-імпульсна модуляція)	Інформація кодується шириною імпульсів.	Простота реалізації, висока роздільна здатність	Чутливість до шумів, обмежена смуга пропускання	Сервоприводи, прості RC-моделі	Аналоговий сигнал, частота носія зазвичай фіксована.
PPM (Імпульсно-позиційна модуляція)	Інформація кодується положенням імпульсів.	Більш стійка до шумів, ніж PWM	Вимагає більш точної синхронізації	Деякі RC-системи, особливо в тих, де потрібна більша стійкість до перешкод.	Аналоговий сигнал, частота носія зазвичай фіксована.
Цифрова модуляція (SBUS, DSM2, DSMX, SUMD)	Використовує цифрові сигнали для передачі даних.	Висока швидкість передачі, стійкість до шумів, можливість передачі додаткової інформації (телеметрія)	Вимагає більш складних схем	Сучасні RC-системи, особливо в авіамоделюванні та робототехніці.	Використовує різні цифрові кодування (наприклад, ASK, FSK, PSK), може мати різну швидкість передачі даних.
SBUS	Серійний протокол для RC.	Висока швидкість передачі, багатоканальність, компактність	Менш поширений, ніж DSMX	Радіосистеми FrSky	Використовує синхронну серійну передачу даних.
DSMX	Цифровий спектр модуляції X.	Висока швидкість передачі, стійкість до перешкод, велика дальність дії	Пропріетарний протокол Spektrum	Широко використовується в авіамоделюванні	Використовує пряму послідовність розповсюдження спектру (DSSS).
SUMD	Серійний універсальний мультиплексний цифровий.	Висока швидкість передачі, багатоканальність	Менш поширений, ніж SBUS і DSMX	Різні виробники	Використовується в деяких радіосистемах для передачі даних з високою швидкістю.

Перспективи розвитку:

1. Інтеграція з штучним інтелектом

Моделі зможуть самостійно аналізувати дані з датчиків та приймати оптимальні рішення, наприклад, облітати перешкоди або вибирати найкращий маршрут. Штучний інтелект дозволить моделям навчатися на власних помилках та покращувати свої навички з часом. Моделі зможуть адаптуватися до стилю пілотування кожного користувача.

2. Розширена реальність (AR) та віртуальна реальність (VR)

За допомогою AR/VR-гарнітур пілоти зможуть бачити світ очима моделі та керувати нею більш інтуїтивно. AR/VR дозволить створювати реалістичні симуляції польотів, що допоможе пілотам відточувати свої навички без ризику пошкодження моделі.

3. Інтернет речей (IoT)

Радіокеровані моделі зможуть інтегруватися в систему розумного будинку і виконувати різноманітні завдання, наприклад, відкривати ворота або поливати сад. За допомогою мобільних додатків користувачі зможуть контролювати свої моделі з будь-якої точки світу.

4. Нові матеріали та технології виробництва

Це дозволить створювати більш швидкі та маневрені моделі. 3D-друк спростить процес розробки та виробництва нових моделей.

5. Використання квантових технологій

Квантова криптографія забезпечить неперевершений рівень захисту даних. Квантові комунікації дозволять передавати дані на великі відстані з надзвичайно високою швидкістю.

6. Біонічні технології

Розробники будуть черпати натхнення в природі, створюючи моделі з більш ефективними системами руху та управління.

Висновок

Протоколи дистанційного радіокерування переживають бурхливий розвиток, який відкриває перед нами нові горизонти можливостей. Перехід від аналогових до цифрових технологій, інтеграція з штучним інтелектом, розширена реальність, IoT та інші інновації перетворюють радіокеровані моделі на складні та інтелектуальні системи.

Протоколи дистанційного радіокерування стануть не просто засобом управління моделями, а потужним інструментом для створення інноваційних технологій та розширення меж людських можливостей.

Список використаних джерел

1. Goulart, A.; Chennamaneni, A.; Torre, D.; Hur, B.; Al-Aboosi, F.Y. On Wide-Area IoT Networks, Lightweight Security and Their Applications—A Practical Review. *Electronics* 2022, 11.
2. Sadeghi-Niaraki, A. Internet of Thing (IoT) review of review: Bibliometric overview since its foundation. *Future Gener. Comput. Syst.* 2023, 143.
3. Darabkh, K.A.; Alfawares, M.G.; Althunibat, S. MDRMA: Multi-data rate mobility-aware AODV-based protocol for flying ad-hoc networks. *Veh. Commun.* 2019, 18.
4. Alotaibi, A.; Barnawi, A. Securing massive IoT in 6G: Recent solutions, architectures, future directions. *Internet Things* 2023, 22.

УДК 004.457

Трибулькевич С.Л., Пілявський О. І.

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

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ЛОКАЛЬНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ ЗАКЛАДУ ОСВІТИ

В умовах сучасного розвитку інформаційних технологій більшість комп'ютерних систем взаємодіють через локальні мережі або Інтернет. Це створює потребу в моніторингу для ефективного управління інформаційними потоками та забезпечення стабільної роботи мережі. Моніторинг мережевого обладнання та критичного програмного забезпечення є однією з ключових задач у системному адмініструванні. Важливість цієї задачі полягає у тому, що вона дозволяє не просто реагувати на проблеми, а передбачати їх, що значно спрощує роботу системних адміністраторів.

Метою роботи є розробка та технічне впровадження системи моніторингу в існуючу локальну комп'ютерну мережу закладу освіти.

Система, що розробляється, інтегрується в поточну мережу державного закладу освіти для підвищення стабільності локальної мережі та серверного обладнання.

Структура системи наведена на рис. 1. Розгортання виконується на фізичний сервер, Proxmox VE 8.2 - віртуалізаційної платформи на базі відкритого коду, яка дозволяє створювати та керувати віртуальними машинами та контейнерами. Proxmox VE 8.2 забезпечує інтеграцію з KVM для віртуальних машин і LXC для контейнерів, а також надає можливості для роботи з кластерами та резервного копіювання. У якості операційної системи платформи моніторингу використовується Linux Debian 12.

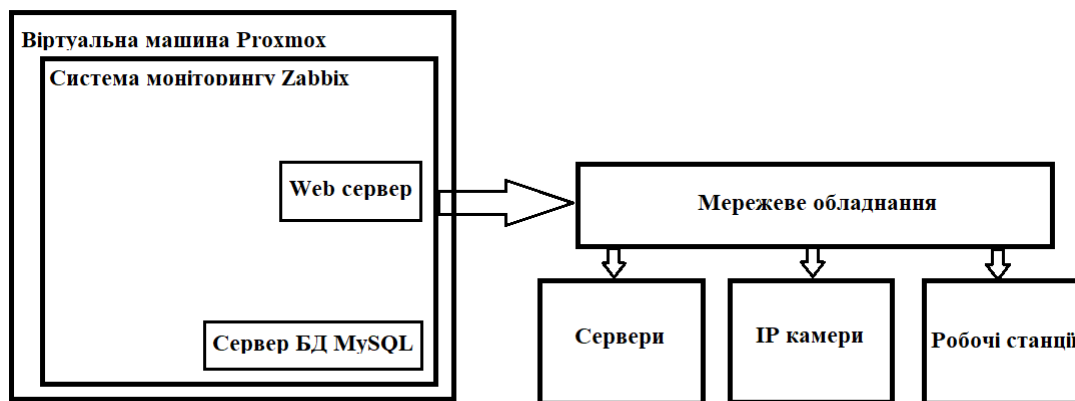


Рисунок 1 – Структурна схема системи

Віртуалізація має кілька переваг над розгортанням на фізичному сервері, серед яких:

1. Економія ресурсів, що дозволяє використовувати ресурси фізичного сервера більш ефективно. Кілька віртуальних машин можуть працювати на одному фізичному сервері, що знижує витрати на апаратне забезпечення.

2. Гнучкість, яка дає можливість швидко створювати, видаляти, копіювати або переміщати віртуальні машини між фізичними серверами.

3. Віртуалізація спрощує процес резервного копіювання і відновлення даних. VM можна використовувати для створення моментальних знімків (snapshots) і резервних копій, що полегшує процес відновлення у разі збоїв.

4. Сучасні технології віртуалізації дозволяють досягати високої продуктивності, іноді навіть кращої, ніж на фізичних серверах, завдяки оптимізації розподілу ресурсів.

5. Віртуальні машини ізольовані одна від одної, що підвищує безпеку. Якщо одна VM потерпіла збій або інфекцію, інші не постраждають.

6. Віртуалізація дозволяє легко створювати тестові середовища для нових проєктів або програм, не впливаючи на продуктивні системи. Розробники можуть виконувати тестування в ізольованому середовищі.

7. Консолідація серверів за допомогою віртуалізації може зменшити енергетичні витрати, оскільки менше фізичних машин означає менше споживання електроенергії і охолодження.

8. Додавання нових ресурсів або VM стає простішим у віртуалізованій середовищі, що дозволяє швидко реагувати на зростаючі потреби.

У підсумку, віртуалізація забезпечує більшу гнучкість, ефективність, безпеку та зручність в управлінні порівняно з традиційним розгортанням на фізичних серверах.

Використання Zabbix у порівнянні з іншими системами моніторингу має ряд переваг, що роблять його популярним вибором серед адміністраторів та IT-фахівців:

1. Zabbix є безкоштовним і з відкритим кодом, що дозволяє організаціям використовувати його без ліцензійних витрат. Це також забезпечує можливість модифікації коду під специфічні потреби.

2. Підтримує моніторинг фізичних та віртуальних серверів, мережевих пристроїв, баз даних, веб-додатків і багато іншого. Завдяки цьому він може бути масштабований для моніторингу всієї інфраструктури.

3. Має розподілену архітектуру, що дозволяє моніторити великі середовища. Можливість використання проксі-серверів допомагає зібрати дані з віддалених або важкодоступних об'єктів.

4. Zabbix здатний обробляти великі обсяги даних та моніторити тисячі хостів завдяки ефективному механізму збору даних і оптимізації запитів.

5. Має гнучку систему триггерів, що дозволяє створювати оповіщення на основі умов, які користувачі можуть налаштовувати відповідно до своїх потреб. Це допомагає швидко реагувати на проблеми.

6. Забезпечує потужні інструменти для візуалізації даних, включаючи графіки, дашборди та звіти, що дозволяє легко аналізувати стан системи.

7. Підтримує активний та пасивний моніторинг, SNMP, IPMI, JMX, а також використання агентів, що надає великий вибір способів збору даних.

8. Zabbix використовується великою спільнотою користувачів, а також має детальну документацію, що полегшує процес налаштування та використання.

9. Легко масштабується та інтегрується з іншими системами для автоматизації процесів управління інфраструктурою, такими як ITSM або системи управління конфігурацією.

У порівнянні з іншими системами моніторингу, такими як Nagios, Prometheus або Splunk, Zabbix часто вважається більш зручним у налаштуванні і надає ширший спектр функцій без додаткових витрат.

Як було вказано вище, при використанні віртуалізації система моніторингу не вимагає багато ресурсів та дозволяє розгорнути на фізичному сервері інші системи. На рис. 2 показана конфігурація апаратного забезпечення віртуальної машини.

Додати	Видалити	Редагувати	Дія над Диском	Повернути
Пам'ять	8.00 GiB			
Процесори	2 (1 sockets, 2 cores) [x86-64-v2-AES]			
BIOS	За замовчуванням (SeaBIOS)			
Дисплей	За замовчуванням			
Комп'ютер	За замовчуванням (i440fx)			
Контролер SCSI	VirtIO SCSI single			
Привід CD/DVD (ide2)	local:iso/zabbix_appliance-7.0.3-netinstall.iso,media=cdrom,size=110158K			
Жорсткий диск (scsi0)	local-lvm:vm-101-disk-0,iosthread=1,size=60G			
Пристрій мережі (net0)	virtio=BC:24:11:28:D6:09,bridge=vbr0,firewall=1			

Рисунок 2 – Конфігурація апаратних ресурсів

Процес моніторингу включає додавання до системи пристроїв, які необхідно контролювати (вузли), збір даних про їхню роботу та подання цих даних у зручному для аналізу вигляді (карти). На основі зібраних даних система генерує сповіщення (тригери) у випадку виникнення критичних ситуацій.

Після встановлення до системи додано усі хости локальної мережі, моніторинг яких потрібно здійснювати. Для зручності використано механізм мап, які поділяють повну мережу на окремі ланки у залежності від призначення та фізичного розташування. Окремо виділено мережу відеоспостереження, а загальну комп'ютерну мережу поділено на мережі будівель, які у свою чергу поділено на мережі поверхів. Приклади мап наведено на рис. 3.

Для зручності на карту також нанесено зв'язки між обладнанням, а для важливих з'єднань налаштовано механізм виводу ярликів з відображенням параметрів у реальному часі таких, як швидкості передачі даних по інтерфейсах.

Zabbix, хоча й є потужним інструментом для моніторингу ІТ-інфраструктури, прямо не призначений для інвентаризації обладнання. Однак, для кожної одиниці обладнання можна додати детальний опис з вказанням інвентарного номера, моделі, виробника, дати придбання, вартості та інших необхідних характеристик. Дані, отримані за допомогою Zabbix, легко порівняти з даними бухгалтерського обліку та інвентаризаційними описами.

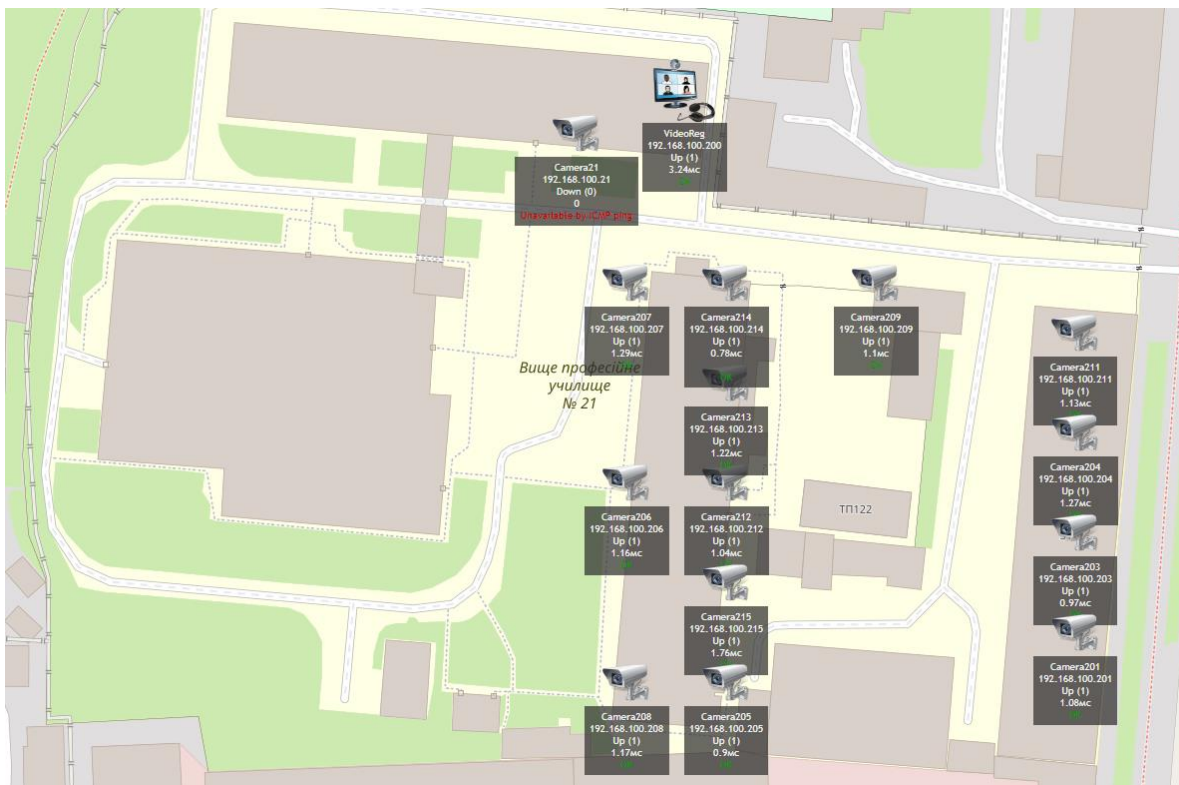
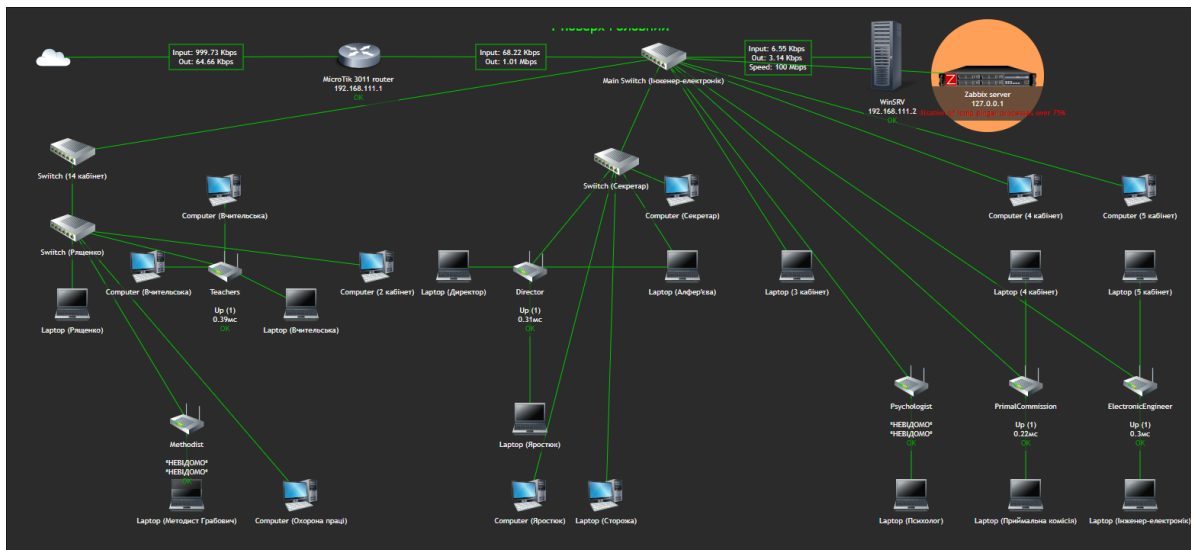


Рисунок 3 – Приклади мап мереж у системі моніторингу

Оповіщення через Telegram у системі Zabbix є ефективним способом забезпечення швидкого інформування про будь-які проблеми в мережі чи на сервері. Використання Telegram як каналу для сповіщень має кілька ключових переваг:

1. Миттєві повідомлення, які замість електронної пошти чи SMS, що можуть затримуватися, приходять майже миттєво.
2. Зручність, що дає змогу отримувати сповіщення на смартфон або комп'ютер та сприяє швидкому реагуванню на проблеми.
3. Інтерактивність, за допомогою якої користувач може легко переглядати стан пристрою, пінгувати його або перевіряти доступність в інтернеті, натиснувши на відповідний елемент у повідомленні.
4. Групова підтримка дає можливість налаштувати надсилення сповіщень кільком користувачам або групі в Telegram, що спрощує колективне адміністрування.

Проведено тестування системи оповіщення, викликавши помилку на одному з роутерів. Сповіщення надійшло в Telegram із вказаною інформацією про проблему, що дозволило оперативно її вирішити.

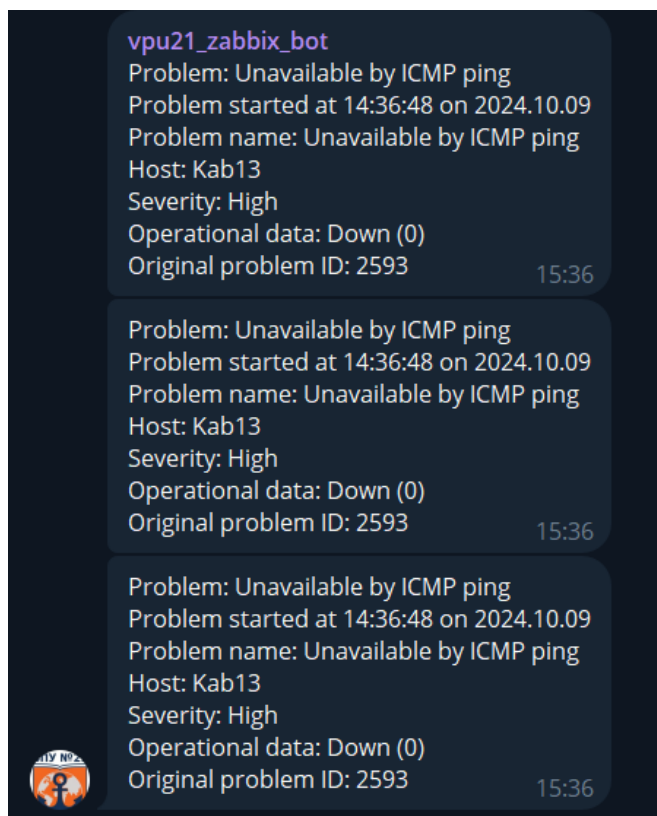


Рисунок 4 – Тестування системи оповіщення

Висновки. Виконано аналіз сучасних систем моніторингу, зокрема таких як Cacti, Nagios, Icinga, Nedi, Ntop, Zabbix, Observium та The Dude, та обрано найоптимальніше рішення для навчального закладу. Проведено впровадження системи моніторингу для мережі закладу освіти з використанням програмного забезпечення Zabbix, до переваг якого належать: масштабованість, підтримка різних типів моніторингу та можливість інтеграції з системами оповіщення через Telegram. Система оповіщення забезпечує миттєве інформування про будь-які збої або критичні ситуації, що значно підвищує ефективність роботи системного адміністратора та дозволяє мінімізувати час на реагування. Загалом, впроваджена система моніторингу мережі закладу освіти значно спрощує адміністрування, забезпечує безперебійну роботу обладнання та своєчасне вирішення проблем, що виникають у мережі, підвищуючи стабільність і безпеку інфраструктури.

Список використаних джерел

1. Proxmox VE Administration Guide. Proxmox VE. URL: <https://pve.proxmox.com/pve-docs/pve-admin-guide.html> (date of access: 18.11.2024).
2. Zabbix Manual. Zabbix : The Enterprise-Class Open Source Network Monitoring Solution. URL: <https://www.zabbix.com/documentation/current/en/manual> (date of access: 18.11.2024).
3. Telegram Bot API. Telegram APIs. URL: <https://core.telegram.org/bots/api> (date of access: 18.11.2024).
4. Manual:TOC - MikroTik Wiki. MikroTik Wiki. URL: <https://wiki.mikrotik.com/Manual:TOC> (date of access: 18.11.2024).
5. Статті. Інтернет-магазин Wi-Fi обладнання ТехноТрейд. URL: <https://www.technotrade.com.ua/articles> (дата звернення: 18.11.2024).

УДК 004:681.5

Трибулькевич С.Л., Стужук І. І.

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

БАГАТОКАНАЛЬНА СИСТЕМА ЗБИРАННЯ ДАНИХ З ІЗОЛЯЦІЄЮ КАНАЛІВ

У сучасному світі, де інформаційні технології та автоматизація відіграють ключову роль, надійність та точність збору даних стають особливо актуальними. Ці системи широко використовуються в промисловості, наукових дослідженнях, де точність вимірювань є критично важливою. Системи збору даних повинні забезпечувати не лише якісну передобробку сигналів, але й убезпечують систему від небажаних впливів, таких як електромагнітні завади та різні типи шумів.

Метою роботи є розробка універсальної «low cost» системи збирання даних з гальванічною ізоляцією як окремих каналів, так груп каналів.

Під збором даних мається на увазі процес виконання вимірювань фізичних явищ або їх запис у будь-якому вигляді для подальшого аналізу.

Збір даних, як правило, відрізняють від ранніх форм запису на магнітні та паперові стрічки. На відміну від колишніх методів, сигнали з аналогової області перетворюються на цифрову область, а потім записуються на цифровий носій, наприклад ПЗУ, флеш-накопичувач або накопичувач на жорсткому диску.

Сучасні цифрові системи збору даних складаються з чотирьох основних компонентів, які формують весь ланцюг вимірювання фізичних явищ:

- датчиків;
- перетворювачів сигналів;
- аналого-цифрового перетворювача;
- комп'ютера з програмою збору даних для реєстрації сигналів та їхнього аналізу.

Основне призначення системи, що розробляється, це вимірювання напруг та струмів у складі лабораторного стенду. При цьому канали вимірювання напруг можуть як мати спільну «землю», так і бути або ізольовані один від одного, або зсунуті по рівнях.

Простий референсний дизайн запропоновано фірмою Texas Instruments [2] у вигляді 16-канального модуля АЦП з цифровою ізоляцією. Структурна схема такої системи наведена на рис. 1.

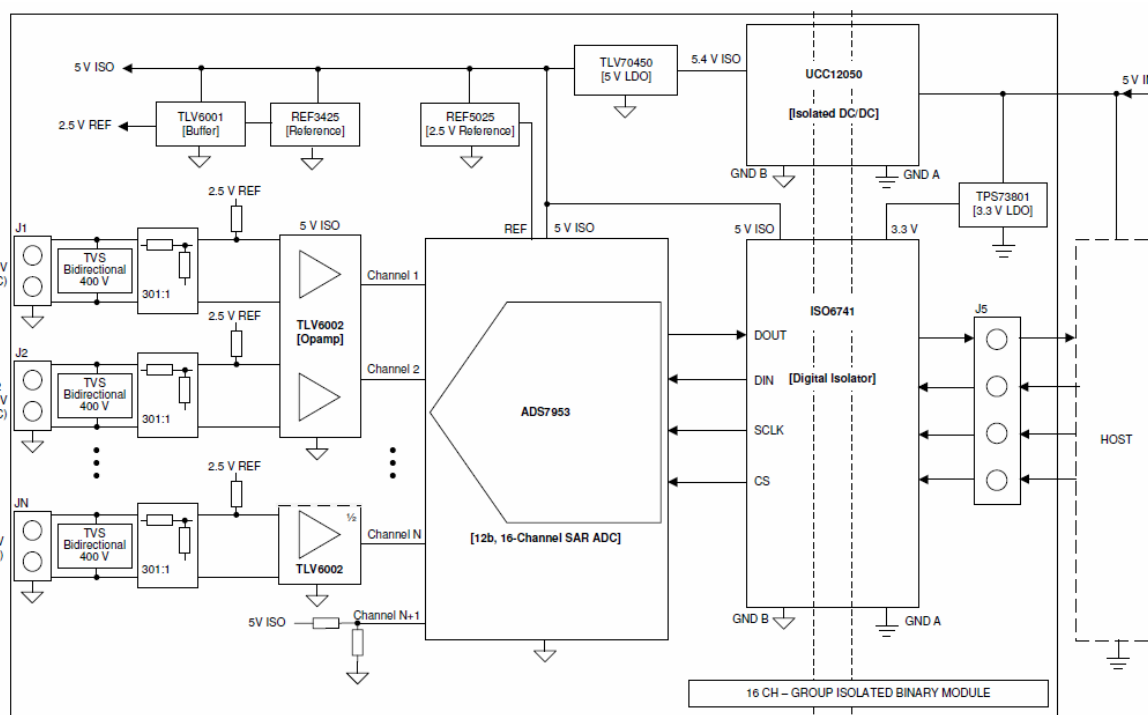


Рисунок 1 – Структурна схема 16-канального модуля АЦП Texas Instruments

Схема відрізняється простотою реалізації, але до головного недоліка даного рішення, за рахунок використання саме цифрової ізоляції, слід віднести необхідність наявності спільної «землі» у входних каналів. Наприклад, при вимірюванні лінійних напруг трифазної мережі спільної точки у всіх трьох каналів не існує і використання схеми на рис. 1 не можливе.

Структурна схема системи з урахуванням вказаних недоліків наведена на рис. 2.

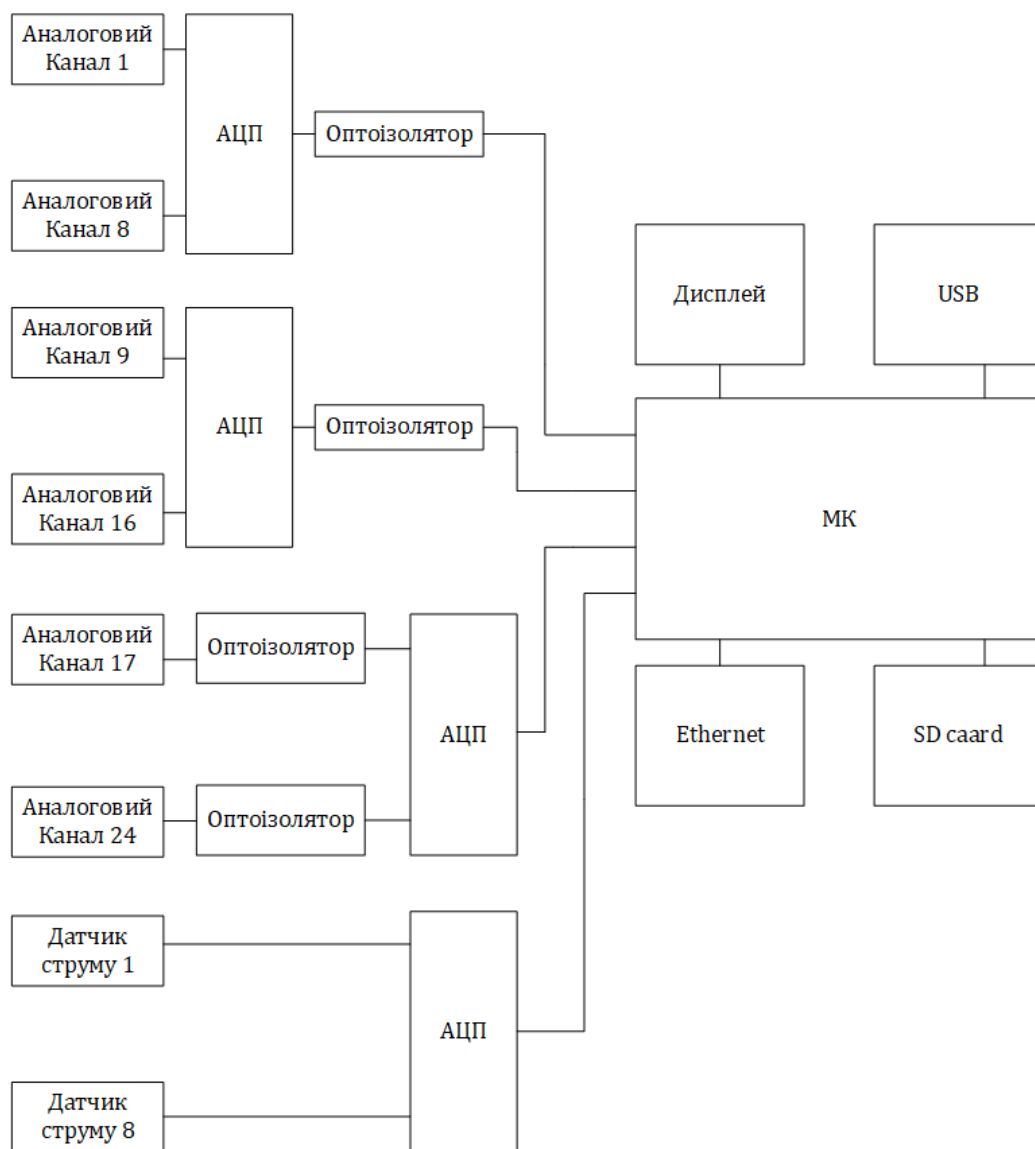


Рисунок 2 – Структурна схема системи

Канали 1 – 8 та 9 – 16 мають свої спільні «землі» та ізольовані від мікроконтролера за рахунок цифрової ізоляції аналогічно рішенням Texas Instruments. Канали 17 – 24 ізольовані один від одного та від мікроконтролера за рахунок використання лінійних оптопар у схемних рішеннях підсилювачів аналогових сигналів. Дане рішення ускладнює конструкцію та вимагає окремого джерела живлення для кожного підсилювального каналу.

Структурна схема каналів 17-24 наведена на рис. 3.

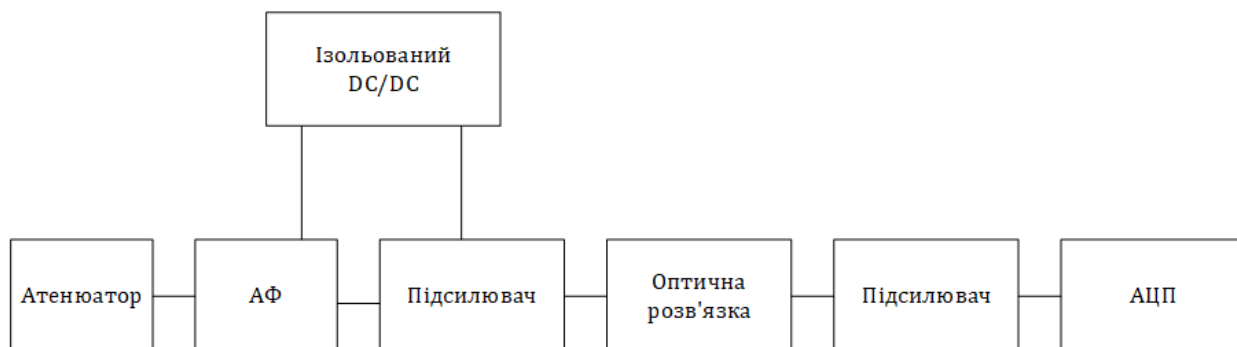


Рисунок 3 – Структурна схема ізольованих каналів

Канал складається із вхідного атенюатора, активного фільтру, підсилювача-суматора для зсуву сигналу, оптичної розв'язки, підсилювача-повторювача та ізольованого DC/DC перетворювача для живлення частини схеми, що гальванічно зв'язана з вхідним сигналом.

Канали вимірювання струму будуються на датчика на ефекті Холу та не вимагають ізоляції від мікроконтролера.

Висновки. Проведено огляд ключових аспектів функціонування багатоканальної системи збору даних із застосуванням технології ізоляції каналів. Дана система забезпечує ефективне й безпечне оброблення сигналів інформації з різних джерел, що має особливе значення в умовах сучасних виробництв та наукових досліджень. Ізоляція каналів дозволяє вирішувати проблеми перешкоджання та зменшує ризик втрати даних, що покращує загальну надійність системи.

Застосування таких систем відкриває нові можливості для моніторингу та аналізу, що є критично важливим для прийняття обґрунтованих рішень. Впровадження багатоканальних систем із ізоляцією каналів вимагає ретельного планування та налаштування, але в результаті істотно підвищує ефективність збору даних. Подальші дослідження в цій галузі можуть зосередитися на розширенні функціональних можливостей, інтеграції з сучасними технологіями та підвищенні адаптивності систем до різних умов експлуатації.

Список використаних джерел

1. Data Acquisition (DAQ) - The Ultimate Guide. *Data Acquisition | Test and Measurement Solutions*. URL: <https://dewesoft.com/blog/what-is-data-acquisition> (date of access: 18.11.2024).
2. TIDA-00420 reference design | TI.com. Analog | Embedded processing | Semiconductor company | TI.com. URL: <https://www.ti.com/tool/TIDA-00420> (date of access: 18.11.2024).
3. Data Acquisition (DAQ) Systems, Devices & Software. *Mess- und Prüfsysteme, bei Emerson - NI*. URL: <https://www.ni.com/en/shop/data-acquisition.html> (date of access: 18.11.2024).
4. Contributors to Wikimedia projects. Data acquisition - Wikipedia. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Data_acquisition (date of access: 18.11.2024).

УДК 621.314.621

Петрієнко О.О., Овсянников В.М., к.т.н., доц.

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ МОРСЬКИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Здійснено аналіз та оцінку можливостей радіолокаційних станцій та станцій радіотехнічної розвідки ВМС іноземних держав при їх комплексному використанні з метою формування даних про обстановку в рамках єдиного інформаційно-керівного простору.

Вступ. Згідно [1] більше 70% аварій суден на морі відбувається з вини людини. Справа в тому, що події в експлуатації технічних засобів можна розділити на три складові: часто повторювані, повсякденні і рідкісні події. Кожне з рідкісних подій має малу, а часом навіть дуже малу, ймовірність. Однак, їх так багато і вони такі різноманітні, що зустрітися з будь-яким з них цілком ймовірно. Справа в тому, що сума досить малих ймовірностей при їх великій кількості стає значущою величиною. Вони як раз і складають ті події, які являються несподіваними для людини. У ситуаціях таких подій людина губиться або робить фатальні помилки, що тягнуть за собою виникнення аварії. Й особливо важливу роль в цих процесах відіграє нестійкість соціальних, економічних, політичних та воєнних подій.

Основа частина. З кінця 80-х років у ВМС США в бойових інформаційно-керуючих системах (БІКС) корабля оперативної групи та оперативного з'єднання почало формуватися єдине уявлення про надводну, повітряну та підводну обстановку в районі 500х500 миль. При цьому всі БІКС кораблів стали об'єднані в єдину систему з використанням обміну інформацією радіоліній автоматизованої передачі даних.

Основними засобами, що забезпечують виявлення повітряних і надводних цілей, є радіотехнічні засоби (РТЗ). До цих засобів можуть бути віднесені технічні пристрої, дія яких заснована на використанні електромагнітної енергії радіохвиль для отримання інформації про цілі, ведення розвідки, забезпечення навігації, управління силами та вирішення інших спеціальних завдань [2].

Основою РТЗ, що використовуються для отримання інформації про повітряну та надводну обстановку, є радіолокаційні станції (РЛС). Останні за своїм функціональним призначенням поділяються на РЛС виявлення повітряних цілей (ВПЦ), виявлення надводних цілей (ВНЦ), забезпечення безпеки плавання (ЗБП), управління зброєю (УЗ) та засоби радіонавігаційного забезпечення польотів палубної авіації [3].

Розвиток корабельних засобів радіотехнічної розвідки (РТР) у ВМС іноземних держав, традиційно розвивалося шляхом підвищення ефективності виявлення випромінювань радіотехнічних засобів, що становлять загрозу кораблю об'єктів. До таких об'єктів належать засоби повітряного нападу, а саме літаки та протикорабельні ракети з радіолокаційними системами наведення. Станції РТР, зазвичай, входять до складу корабельних комплексів [3] радіоелектронної боротьби (РЕБ). Вони забезпечують виявлення випромінювань, їх класифікацію та вироблення пропозицій щодо постановки перешкод. Додатково інформація щодо розпізнавання джерел випромінювань використовується в БІКС корабля для класифікації та розпізнавання повітряних та надводних цілей. Залежно від призначення та режимів роботи РЛС використовують різні частотні діапазони (рис. 1).

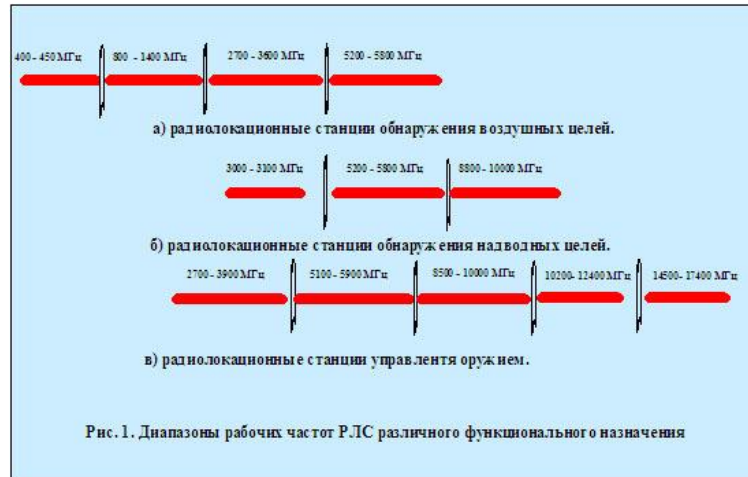


Рисунок 1 – РЛС різного призначення та їх робочі частотні діапазони [3].

1. Корабельні станції радіолокації

1.1. РЛС ВПЦ функціонують у діапазонах частот 400-450, 860-1400, 2700-3600 та 5200-5800 МГц і встановлюються на всіх кораблях основних класів. Залежно від розв'язуваних завдань, всі РЛС ВПЦ поділяються на три групи:

- оглядові двокоординатні РЛС ВПЦ, що забезпечують спостереження за повітряною обстановкою та виявлення повітряних цілей на великих дальностях (РЛС типів AN/SPS-49, 1022, 967/968, DRBV-26, LW-08, SMART-L, MM/SPS-7 та інші);
- трикоординатні РЛС ВПЦ, що забезпечують спостереження за повітряною обстановкою та видачу даних цілевказівки системам управління зброєю (РЛС типів AN/SPS-48, AN/SPY-1 AN/SPS – 52, 996, DRBV-15, SMART-S, MM/SPS -774, TRS – 3D, AWS-6, «Сі Жираф» та інші);
- РЛС виявлення повітряних цілей (РЛС типів Mk-23 TAS, AN/SPQ – 9A/B).

З усіх типів сучасних корабельних РЛС ВПЦ найбільш ефективними вважаються багатofункціональні РЛС з фазованими антенами ґратами типу AN/SPY-1, EMPAR і РЛС виявлення повітряних цілей, що низько летять типу AN/SPQ-9B.

РЛС типу AN/SPY-1 входить до складу корабельної системи ППО "AEGIS". РЛС встановлені на КР УРО типу «Тікондерога» та ЕМ УРО типу «Орлі Берк» ВМС США. Станція забезпечує виявлення, класифікацію повітряних цілей, їх супровід та видачу даних цілевказівки до системи управління зброєю. Робота станції здійснюється у діапазоні частот 3100-3600 МГц. Випромінювання РЛС є послідовністю імпульсів з кодово-імпульсною або лінійною частотною модуляцією. Захист від навмисних перешкод досягається перебудовою несучої частоти від імпульсу до імпульсу, зміною періоду проходження імпульсів за випадковим законом, використанням складної тимчасової структури сигналів та їх оптимальною обробкою після відбиття від цілі.

РЛС типу AN/SPQ-9B встановлюється на авіаносцях та десантних кораблях. Станція забезпечує виявлення та класифікацію повітряних цілей, що низько летять (літаків, крилатих ракет), одночасний супровід до 50 цілей і видачу даних цілевказівки в систему управління ЗУР НАТО «Сі Спарроу» або «RAM».

1.2. РЛС ВНЦ кораблів працюють у діапазоні 3000 – 3100 МГц (AN/SPS – 64, Типу 1008, Деcca), 5200 – 5800 МГц (AN/SPS – 10, - 67, TRS – 3D), 8800 – S100 - 55, - 46, - 64, 1006, 1007, Furuno, Деcca та ін). 1.3. РЛС УЗ функціонують у діапазонах частот 2700-3900, 5100-5900, 8500-10000, 10200-12400 та 14500-17400 МГц. Вони призначені для управління ракетною зброєю та вогнем корабельної артилерії. До основних типів РЛС УЗ відносяться станції AN/SPQ-9, AN/SPG-51, -53, -60, -62, Mk 92, Mk 95, Mk 15 та інші.

2. Корабельні засоби радіотехнічної розвідки

В даний час на озброєнні кораблів ВМС іноземних держав є досить велика номенклатура типів станцій та комплексів РТР та їх модифікацій. Вона перекриває майже весь частотний спектр РЛС різного функціонального призначення (рис.2).

Так, наприклад, на озброєнні кораблів ВМС США стоїть комплекс РТР AN/SLQ - 32(V) різних модифікацій, на озброєнні кораблів ВМС Великобританії станція РТР UAT, на озброєнні кораблів ВМС Франції станції типу ARBR - 16 - 17 - 18 - 21, на озброєнні кораблів ВМС Німеччини станція РТР типу FL – 1800. Комплекс РТР та РЕБ AN/SLQ – 32(V) встановлюється на кораблях ВМС США у трьох модифікаціях: AN/SLQ – 32(V)2 встановлюється на фрегатах типу «О.Х.Перрі» та на десантних кораблях, AN/SLQ – 32(V)3 встановлюється на авіаносцях типу «Німіц», крейсерах типу «Тікондерога», есмінцях типу «Орлі Берк» та ін.

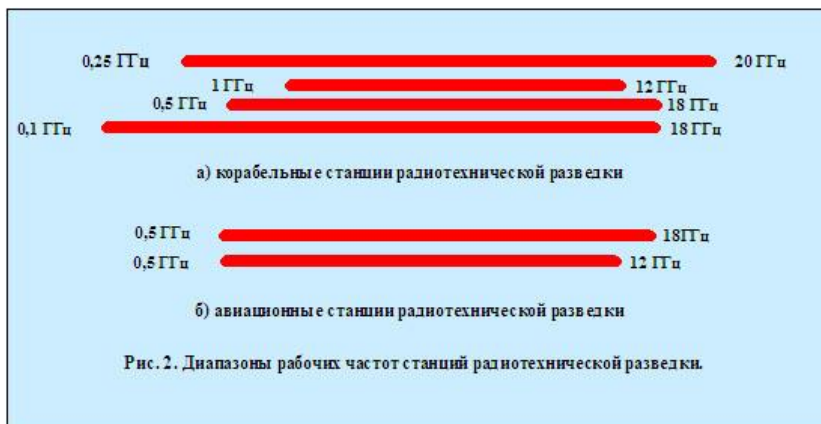


Рисунок 2 – Діапазони робочих частот станцій радіотехнічної розвідки [3].

У США велася розробка нового комплексу РТР та РЕБ [4] типу AN/SLY – 2, який мав замінити комплекс AN/SLQ – 32(V) різних модифікацій. Натомість на озброєння було прийнято нову модифікацію комплексу AN/SLQ – 32(V)5, яку спочатку передбачалося встановлювати на есмінці «Орлі Берк» останньої серії. У цій модифікації комплексу розширено діапазон ведення розпізнавання джерел радіовипромінювань AN/SSX - 1 для збільшення кількості РЕС, що розпізнаються [3]. Нова модифікація комплексу встановлюється на кораблях більш ранньої будівлі під час їх модернізації під час планових ремонтів, зокрема на фрегатах типу «О.Х.Перри» замість комплексу AN/SLQ – 32(V)2 встановлюється комплекс AN/SLQ – 32(V)5.

Комплекс РТР та РЕБ варіант AN/SLQ – 32(V)2 також стоїть на озброєнні кораблів ВМС Туреччини, Іспанії, Польщі, Єгипту, Австралії, Тайваню, тобто тих країн, для яких будувалися або були передані кораблі типу «О.Х.Перрі».

У ВМС Франції [5] основою станцій РТР є станції типу DR – 2000, DR – 3000 та DR – 4000 розробки та виробництва фірми «Томсон – CSF». на базі DR – 2000U станція типу ARUR – 10 для підводних човнів. Станція забезпечує виявлення випромінювань у діапазоні від 1 до 12 ГГц, їх пеленгування з точністю до 60 та вимірювання параметрів випромінювання (несучої частоти, тривалості імпульсів, періоди слідування імпульсів та обертання антени). Dalia 500 або Dalia 1000, який має базу даних на 500 чи 1000 випромінювань, відповідно.

На базі станції сімейства DR – 3000 створено станції РТР типу ARAR – 12A (DR – 3000A) для літаків, ARBR – 18 (DR – 3000S1) та ARBR – 21 (DR – 3000S2) для надводних кораблів та ARUR – 13 () для підводних човнів. особливістю станцій цієї модифікації є розширення діапазону виявлення випромінювань, що становить від 500 МГц до 18 ГГц, а надводних кораблів від 100 МГц до 18 ГГц Крім того підвищена точність вимірювання пеленгу до 10 і параметрів випромінювань.

Подальше вдосконалення [5] призвело до створення сімейства станцій DR – 4000A/S/U на базі якого було створено літакову станцію TMV – 201, корабельну ARBR – 17 та ARUR – 11 для підводних човнів. Станція створювалася як експортна і тому має вузький діапазон виявлення випромінювань - від 500 МГц до 12 ГГц. Різні модифікації сімейства цих станцій закупили для озброєння своїх кораблів та підводних човнів ВМС Пакистану, Індонезії, Кувейту та навіть Німеччини (для підводних човнів проекту 209). У ВМС Великобританії попри всі кораблі основних класів встановлюється станція РТР типу UAT. За своїми характеристиками вона близька до станцій типу ARBR – 18 та ARBR – 21. У ВМС Німеччини базовою є станція РТР FL – 1800S/U, яка встановлюється як у надводних кораблях, так і на підводних човнах.

Авіаційні засоби РТР традиційно розвиваються шляхом попередження льотчика про опромінення літака засобами радіолокаційного виявлення [6] та наведення на нього ракет або для виявлення параметрів випромінювань РЛС виявлення на користь застосування засобів РЕБ (наприклад, комплекси ALQ – 99 та ALQ – 218 літаків EA – 6B «Проулер»). Виняток становлять літаки PP і РТР та ДРЛО.

Так, наприклад, літаки PP та РТР типу EP – 3E «ARIES II» приймачі та комплекси типу ALR – 60, ALQ – 76, - 78, 108, - 114. Для аналізу випромінювань використовується аналізатор типу AN/ULQ – 16, який забезпечує аналіз випромінювань у смузі до 160 МГц. Усього компанією EDO Reconnaissance and Surveillance Systems для потреб ЗС США поставлено понад 900 штук.

Найбільш сучасною авіаційною станцією РТР є станція РТР типу AN/AYR – 1, яка встановлена на літаках E – 3C системи «АВАКС» та інтегрована з РЛС AN/APY – 2. Станція працює в діапазоні 0,5 – 18 ГГц та забезпечує розпізнавання випромінювань РЛС літаків і кораблів до їх типу, що дозволяє також розпізнавати носії до їх класу та типу, а при наборі певних статистичних даних та до найменування носія конкретного екземпляра РЛС. Інтеграція з РЛС типу AN/APY – 2 дає додаткову інформацію для розпізнавання РЛС, що спостерігаються, цілей. Такий же підхід використовується при комплексуванні інформації комплексу РТР та РЕБ ALQ – 142 та РЛС APS – 124 вертольоти SH – 60B та комплексу РТР та РЕБ ALQ – 210 та РЛС APS – 147 вертольота SH – 60R. В іноземній пресі також зазначається, що засоби РТР мають перевагу перед РЛС у дальності виявлення особливо надводних цілей у 1,5 – 2 рази залежно від діапазону частот використовуваних РЛС (рис.3).

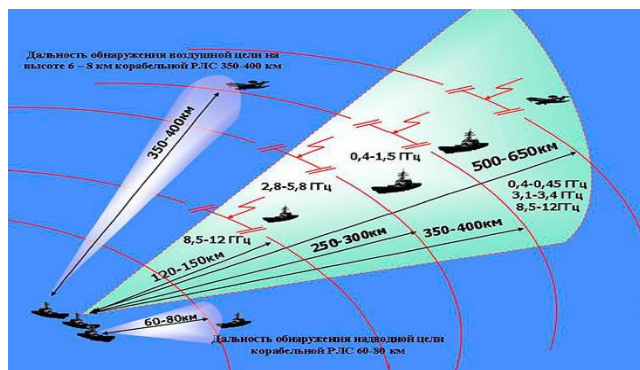


Рисунок 3 - Порівняльні дальності виявлення надводних та повітряних цілей корабельними РЛС та засобами РТР [5].

Висновки

Таким чином, аналіз номенклатури та технічних параметрів основних типів радіолокаційних систем, засобів та комплексів радіотехнічної розвідки ВМС іноземних держав [6] показує, що:

1. Велика номенклатура корабельних радіолокаційних засобів, що стоять на озброєнні різних класів і типів кораблів ВМС іноземних держав, дозволяє забезпечити розпізнавання за параметрами їх типів, класів і типів їх носіїв.

2. Проведена модернізація корабельних комплексів радіотехнічної розвідки (у тому числі AN/SLQ – 32(V)5, DR – 3000) шляхом підвищення точності вимірювання пеленгу на випромінювання до 1° , параметрів випромінювання та можливості розпізнавання випромінювань (наявність еталонних бібліотек на випромінювання у складі станцій аналізу та розпізнавання джерел радіовипромінювань AN/SSX – 1, AN/ULQ – 16, Dalia 500, Dalia 1000 та ін.), дозволяє збільшити дальності виявлення супротивника, підвищити кількість розпізнаних цілей та відповідно ступінь поінформованості про навколишню обстановку.

3. Комплексування видобутої інформації про цілі активними та пасивними радіотехнічними засобами та комплексами в корабельних БІУС та АСБУ, а також постійний взаємобмін інформацією про обстановку автоматизованими каналами обміну даними з іншими силами діючими в районі, на театрі та відповідними пунктами управління дозволяє формувати єдине на всіх командних пунктах та силах, що діють у морі із заданим темпом оновлення інформації в рамках єдиного інформаційного простору на театрі.

Список використаних джерел

1. JANE'S FIGHTING SHIPS. 2010-2011.
2. JANE'S RADAR AND ELECTRONIC WARFARE SYSTEMS. 2005.
3. Корабельні радіолокаційні станції ЗС іноземних держав (довідник). За редакцією Лежнєва А.В. М: ГШ ЗС РФ, 2008. - 90 с.
4. Norman Friedman. Radars i electro-optical sensors. 2003.
5. LEADING EDGE. SENSORS. NAVAL SURFACE WARFARE CENTER. DAHLGREN DIVISION. 2009.
6. В. Радзієвський, А. Сирота Теоретичні основи радіоелектронної розвідки. 2 - е вид., Випр. I дод. - М.: "Радіотехніка", 2004.

УДК 621.314.621

Бондаренко К.А., Овсянников В.М., к.т.н., доц.

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

СТИСЛИЙ АНАЛІЗ ПРИСТРОЇВ СИСТЕМ ОХОРОННОГО СПОВІЩЕННЯ СУДЕН

Вступ. Сучасний морський транспорт на сьогоднішній день стикається з різноманітними викликами та загрозами, серед яких найважливішим є забезпечення безпеки суден та їх екіпажів. У цьому контексті системи охоронного сповіщення та аварійно-попереджувальної сигналізації (СОС) на судах відіграють ключову роль у вчасному виявленні та ефективному управлінні небезпечними ситуаціями.

Починаючи з огляду загальних принципів роботи систем СОС, ми також зосередимо увагу на важливих аспектах їхньої інтеграції у сучасні технічні засоби безпеки на судах, таких як радіо сполучення, системи виявлення пожежі та інші системи аварійного реагування.

Зможемо вдосконалити розуміння процесів та технологій, що забезпечують безпеку судноплавства, і надає перспективу на подальше дослідження у цій важливій галузі морської справи.

Основна частина. На судах існують різноманітні пристрої систем охоронного сповіщення та аварійно-попереджувальної сигналізації (СОС), які використовуються для забезпечення безпеки на морі. Основні пристрої та їх режими роботи включають так [1-3]:

Радіостанція для виклику в режимі СОС (Система Зв'язку у Надзвичайних Ситуаціях): Це спеціальна радіостанція, призначена для надання сигналів про надзвичайні ситуації. Режим роботи передбачає відповідне налаштування частоти і потужності для забезпечення надійного зв'язку у випадку аварій.

Приклад зображено на рис. 1



Рисунок 1 – Радіостанція

Система сповіщення МОВ (людина за бортом): Ця система автоматично відслідковує, якщо людина потрапила за борт судна, і відправляє відповідний сигнал аварії. Приклад зображено на рис. 2

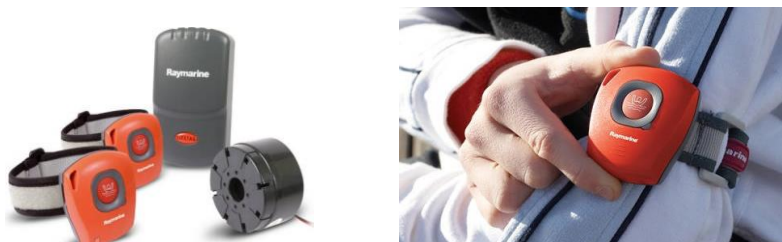


Рисунок 2 – Система "Людина за бортом" Raymarine LifeTag

Оптичні та звукові сигнали аварійного сповіщення: Використовуються сирени, світлові маяки, сигнальні ракети та інші пристрої для видачі сигналів у разі аварії. Приклад зображено на рис. 3



Рисунок 3 – світловий маяк, сигнальні ракети, ревун.

Системи сповіщення і виявлення пожежі і диму: Вони моніторяться в реальному часі, і в разі виявлення пожежі або диму спрацьовують відповідні сигнали. Приклад зображено на рис. 4.



Рисунок 4 - Системи сповіщення і виявлення пожежі і диму

Системи сповіщення про затоплення: Датчики води швидко виявляють затоплення і активують сигнали аварійного сповіщення. Приклад зображено на рис. 5

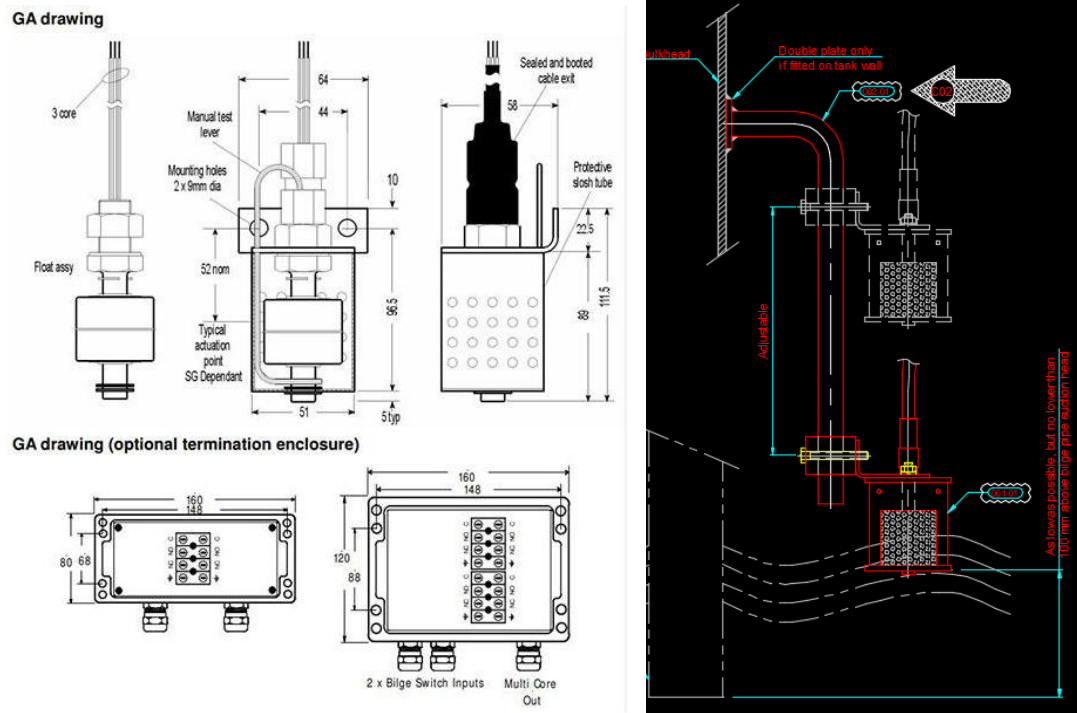


Рисунок 5 – BLS 9200 Bilge Level Switch

Призначення пристроїв систем охоронного сповіщення та аварійно-попереджувальної сигналізації

Забезпечення безпеки: Головне завдання цих пристроїв полягає в забезпеченні безпеки судноплавства. Вони допомагають вчасно виявляти потенційні небезпеки, такі як пожежі, затоплення, викиди газів тощо.

Сигналізація про надзвичайні ситуації: Ці пристрої призначені для видачі сигналів тривоги та сповіщення екіпажу та інших судноплавців про надзвичайні ситуації, що виникають на судні.

Аварійне викликання допомоги: Вони дозволяють екіпажу активувати систему сповіщення та звернутися за допомогою у випадку аварійних ситуацій, таких як потоплення судна або інші критичні події.

Координація рятувальних дій: Інформація, отримана від цих пристроїв, може бути використана для координації рятувальних операцій з метою швидкого та ефективного реагування на надзвичайні ситуації.

Забезпечення відповідності нормативам безпеки: Використання цих пристроїв допомагає судновласникам та операторам дотримуватися міжнародних стандартів безпеки мореплавства та вимог класифікаційних товариств.

Режими роботи апаратури СОС на судах [2, 3, 5].

Апаратура систем охоронного сповіщення та аварійно-попереджувальної сигналізації (СОС) на судах працює у різних режимах для забезпечення безпеки судноплавства та ефективного реагування на надзвичайні ситуації. Основні режими роботи апаратури СОС на судах включають:

• Стандартний режим сповіщення.

Стандартний режим сповіщення в системах охоронного сповіщення та аварійно-попереджувальної сигналізації (СОС) на судах є основним режимом роботи, коли пристрої перебувають у режимі очікування та моніторять навколишнє середовище на наявність надзвичайних ситуацій або загроз безпеці.

Нижче розглянемо більш детально ключові аспекти стандартного режиму сповіщення на судах.

Моніторинг середовища: Протягом всього часу експлуатації судна, пристрої систем СОС постійно моніторять різні параметри середовища, такі як температура, вологість, наявність диму, рівень води тощо.

Виявлення надзвичайних ситуацій: Пристрої систем СОС оснащені датчиками та сенсорами, які реагують на потенційні небезпеки, такі як пожежі, затоплення, викиди газів або інші аварійні ситуації.

Аналіз та оцінка інформації: Отримана від датчиків інформація проаналізовується та оцінюється системами контролю та керування судном з метою визначення серйозності ситуації та потреби у втручанні.

Автоматична реакція: У разі виявлення потенційної небезпеки, системи СОС можуть автоматично виконати певні дії, такі як активація відповідних сигналів тривоги, включення автоматичних протипожежних систем або інших заходів захисту.

Сповіщення екіпажу: При виявленні надзвичайної ситуації системи СОС автоматично сповіщають екіпаж судна про виниклу небезпеку та надають необхідну інформацію для прийняття відповідних заходів.

Запис даних: Деякі системи СОС можуть автоматично записувати дані про надзвичайні ситуації та їхній хід для подальшого аналізу та вдосконалення систем безпеки судна.

Стандартний режим сповіщення забезпечує постійний контроль за безпекою на судні та надає можливість екіпажу реагувати на надзвичайні ситуації у найкоротший термін

- **Аварійний режим**

Аварійний режим в системах охоронного сповіщення та аварійно-попереджувальної сигналізації (СОС) на судах активується у випадку виявлення небезпечних ситуацій або аварій, які загрожують безпеці судна, його екіпажу та пасажирів. Розглянемо цей режим докладніше:

Автоматична активація: Більшість систем СОС можуть автоматично перейти у режим аварії у разі виявлення небезпечної ситуації, такої як пожежа, затоплення, зіткнення або інші аварії.

Видача сигналу тривоги: У режимі аварії системи СОС видають відповідні сигнали тривоги, щоб привернути увагу екіпажу судна та інших судноплавців до небезпеки.

Активна індикація: На борту судна та в центрі керування можуть активуватися світлові та звукові сигнали, щоб нагадати екіпажу про надзвичайну ситуацію.

Сповіщення координаторів рятувальних операцій: У разі активації аварійного режиму системи СОС автоматично надсилають сигнали до центрів координації рятувальних операцій, які можуть забезпечити швидкий та ефективний відгук на надзвичайну ситуацію.

Додаткові заходи захисту: У деяких випадках аварійний режим може включати автоматичне включення додаткових заходів захисту, таких як пожежні системи, аварійне вимкнення електричного живлення, або автоматичне відключення газів та рідин.

Підтримка екіпажу: Системи СОС можуть надавати екіпажу додаткові інструкції та рекомендації щодо заходів для забезпечення безпеки судна та його екіпажу під час надзвичайної ситуації.

- **Ручний режим.**

Ручний режим в системах охоронного сповіщення та аварійно-попереджувальної сигналізації (СОС) на судах дозволяє екіпажу активувати систему вручну у випадку необхідності.

Активація екіпажем: Ручний режим передбачає можливість активації системи СОС екіпажем судна вручну. Це може бути необхідно в ситуаціях, коли екіпаж визначає загрозу або надзвичайну ситуацію та потребує негайного сповіщення.

Натискання кнопки або включення перемикача: Зазвичай для активації ручного режиму існують спеціальні кнопки або перемикачі на панелях керування, які дозволяють екіпажу швидко активувати систему СОС.

Сигнал тривоги: Після активації ручного режиму система СОС генерує відповідний сигнал тривоги, який негайно привертає увагу екіпажу та навколишніх судноплавців до небезпеки.

Сповіщення координаторів рятувальних операцій: У разі активації ручного режиму система СОС може автоматично надіслати сигнали до центрів координації рятувальних операцій для забезпечення швидкого та ефективного реагування на надзвичайну ситуацію.

Інструкції екіпажу: Після активації ручного режиму система СОС може надати додаткові інструкції та рекомендації екіпажу щодо подальших дій для забезпечення безпеки судна та його екіпажу.

Ручний режим в системах СОС надає екіпажу можливість негайно реагувати на небезпеку та активувати систему сповіщення в разі потреби, що допомагає забезпечити максимальний рівень безпеки на судні.

- **Тестовий режим.**

Тестовий режим в системах охоронного сповіщення та аварійно-попереджувальної сигналізації (СОС) на судах призначений для перевірки функціональності та надійності системи без активації реальних сигналів тривоги.

Перевірка роботи пристроїв: У тестовому режимі система СОС відтворює роботу своїх пристроїв і сенсорів для перевірки їхньої функціональності. Це може включати перевірку сигналів тривоги, роботи датчиків пожежі, затоплення, диму тощо.

Тестові сигнали тривоги: Під час тестового режиму система може відтворювати тестові сигнали тривоги, щоб перевірити реакцію екіпажу та інших пристроїв на судні на ці сигнали.

Перевірка зв'язку: Тестовий режим може включати перевірку роботи системи зв'язку, такої як радіо або супутниковий зв'язок, для забезпечення надійної комунікації під час надзвичайних ситуацій.

Тестування реакції екіпажу: В деяких випадках тестовий режим може використовуватися для перевірки готовності та реакції екіпажу на надзвичайну ситуацію, без активації реальних сигналів тривоги.

Безпечне тестування: Тестовий режим дозволяє проводити перевірку системи без створення паніки або зайвої тривоги серед екіпажу та пасажирів.

Тестовий режим є важливою частиною підтримки та обслуговування системи СОС на судні, оскільки він дозволяє перевірити, що всі компоненти працюють належним чином і готові до використання у випадку надзвичайної ситуації.

- **Спеціалізовані режими.**

Спеціалізовані режими в системах охоронного сповіщення та аварійно-попереджувальної сигналізації (СОС) на судах призначені для виконання конкретних функцій або відповідно до специфічних вимог або сценаріїв надзвичайних ситуацій.

Пожежний режим: Цей режим активується у разі виявлення пожежі на судні. Система СОС може автоматично ініціювати процеси пожежогасіння, включати вентиляцію або викликати пожежний екіпаж.

Паводковий режим: У випадку затоплення судна або водяного затоплення вантажу, система СОС може активувати режим затоплення, який включає в себе заходи по відкачуванню води та забезпеченню безпеки судна.

Евакуаційний режим: Цей режим призначений для організації та керування процесом евакуації екіпажу та пасажирів у випадку надзвичайної ситуації, такої як катастрофа чи загроза потоплення судна.

Хімічний/біологічний/радіаційний режим (ХБР): Цей режим активується у разі виявлення небезпеки від хімічних, біологічних або радіаційних речовин. Система СОС може автоматично сповіщати екіпаж та здійснювати заходи з захисту.

Режим пошуку та порятунку: У випадку пошуку та порятунку, наприклад, під час пошуку випавших за борт членів екіпажу або пасажирів, система СОС може активувати спеціальні функції для відстеження та рятування.

Режим "Тільки прийом": Цей режим може бути використаний для прийому сигналів тривоги та сповіщень, але без автоматичної реакції на них. Він може використовуватися в ситуаціях, коли необхідно стежити за подіями, але активувати реакцію вручну.

Ці спеціалізовані режими роботи в системах СОС на судах дозволяють адаптувати функціональність системи до конкретних умов та вимог безпеки в різних ситуаціях надзвичайних обставин [4,5].

Висновки

1. У даному огляді були розглянуті різні режими роботи в системах охоронного сповіщення та аварійно-попереджувальної сигналізації (СОС) на судах. Кожен з цих режимів в комплексі з приладами, та обладнанням, виконує важливу роль у забезпеченні безпеки на судні та ефективному реагуванні на надзвичайні ситуації.

2. Стандартний режим роботи є основним і забезпечує постійний моніторинг середовища на наявність небезпеки, тоді як аварійний режим активується у випадку критичних ситуацій та ініціює негайні заходи для забезпечення безпеки. Ручний режим надає можливість екіпажу активувати систему вручну у випадку необхідності, дозволяючи швидко реагувати на надзвичайні ситуації.

3. Тестовий режим дозволяє перевірити функціональність та надійність системи без активації реальних сигналів тривоги, що дозволяє виявити та виправити можливі проблеми без ризику виникнення паніки або недоречного втручання. Спеціалізовані режими роботи адаптують функціональність системи до конкретних умов та вимог безпеки в різних надзвичайних обставинах, що підвищує ефективність заходів безпеки та рятувальних операцій.

4. Важливо зазначити прилади, які використовуються в системах охоронного сповіщення та аварійно-попереджувальної сигналізації (СОС) на судах [5].

Детектори пожежі - датчики, які реагують на підвищення температури або виявлення диму, що дозволяють вчасно виявляти пожежу на судні.

Детектори газу - прилади, які виявляють наявність шкідливих газів, таких як вуглекислий газ або метан, що можуть становити загрозу для безпеки.

Датчики затоплення - прилади, які виявляють наявність води у непризначених для цього місцях, що допомагають вчасно виявити загрозу затоплення судна.

Системи відеоспостереження - камери та системи запису, які забезпечують візуальний контроль за різними зонами судна та допомагають виявити надзвичайні ситуації.

Системи радіозв'язку - прилади, які забезпечують зв'язок між екіпажем судна та центром керування у разі надзвичайної ситуації.

Пульт керування СОС - прилади для керування та моніторингу різних систем СОС на судні, які дозволяють екіпажу швидко реагувати на надзвичайні ситуації.

Усі ці режими, та прилади разом створюють комплексну систему безпеки, яка дозволяє ефективно виявляти, сповіщати та реагувати на небезпеки на судні та забезпечує максимальний рівень захисту для життя та майна на морі.

Список використаних джерел

1. Кліффорд В. А. "Системи безпеки та охорони суден: технічні аспекти та управління". Видавництво "Морська книга", 2015 рік.
2. Соломаха С. О. "Автоматизовані системи безпеки суден". Видавництво "Морська книга", 2018 рік.
3. Інститут морської навігації та судноводіння. "Посібник з технічного обслуговування систем безпеки суден". Київ, 2017 р.
4. Законодавство про морську безпеку та міжнародні нормативні акти, що стосуються систем безпеки та сповіщення на судах (наприклад, Міжнародний кодекс з безпеки судноплавства, SOLAS, та інші).
5. Журнальні статті та наукові праці, опубліковані в спеціалізованих виданнях, таких як "Marine Technology" та "Journal of Maritime Safety and Environmental Protection".

УДК 681.5

Оглоблев О. В.

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

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПОДАЧ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА

Протягом останнього часу машинобудівна галузь збагатилася новими особливостями, такими як універсальність та ефективність, високий коефіцієнт автоматизації технологічних операцій, мінімальна енерго- та сировинна затратність. Можливість мобільності устаткування для виробництва різної продукції здійснюється за рахунок робототехнічних комплексів з мікропроцесорною або комп'ютерною технікою, гнучких автоматизованих комплексів і універсальних виробничих систем з багатofункціональними верстатами, автоматичною зміною інструменту і деталей [1]. З урахуванням довготривалих перспектив розвитку машинобудування виділено такі найважливіші шляхи вдосконалення металорізальних верстатів: зростання потужності верстатів за рахунок інтенсифікації методів обробки та скорочення непродуктивних витрат часу; підвищення ступеня механізації та автоматизації металорізальних верстатів завдяки значному збільшенню номенклатури автоматичних і напівавтоматичних верстатів та скороченню номенклатури верстатів з ручним керуванням.

Автоматизовані електроприводи в поєднанні з механічними, гідравлічними та іншими системами гарантують високу продуктивність і якість сучасних металообробних верстатів і є базою для комплексної автоматизації технологічних процесів в машинобудуванні. Перехід фрезерних верстатів до верстатів з ЧПК і мікропроцесорним керуванням спрямований на вдосконалення технологічного процесу, отримання переваг в строках і якості виготовлення продукції, зменшення потреби в необхідності здійснення постійного нагляду з боку людини, а тому створення і реалізація таких систем є актуальним завданням.

Метою роботи є розробка системи автоматичного керування електроприводами фрезерного верстата. Для реалізації цієї мети потрібно вирішити наступні завдання:

- розробити функціональну та принципову електричну схеми системи автоматичного керування електроприводами фрезерного верстата;
- розробити динамічну структурну схему системи автоматичного керування електроприводом подачі фрезерного верстата;
- визначення структури та властивостей коригувальних елементів системи керування;
- розрахувати перехідні процеси в системі керування силовим електроприводом.

Розробка функціональної та принципової електричної схем системи автоматичного керування електроприводами подачі фрезерного верстата

Оскільки рух механізму подачі фрезерного верстата повинен бути відтворений з високою точністю, в основу системи автоматичного керування має бути покладен принцип керування за відхиленням керованої величини [2]. Для отримання потрібної якості процесу керування в систему автоматичного керування (САК) додатково вводяться корегуючі пристрої. Для забезпечення високих показників якості керування в систему керування разом з послідовним корегуючим пристроєм також вводять і паралельний корегуючий пристрій.

Таким чином, складаємо функціональну схему системи автоматичного керування електроприводами подачі фрезерного верстата (рис. 1). На схемі використані такі позначення: x, y, z – координати переміщень, програмні значення координат; a_{max} – максимальне прискорення, v – швидкість переміщення; ТГ – тахогенератор; ШІМ-перетворювач – широтно-імпульсний модулятор; ДПС – двигун постійного струму.

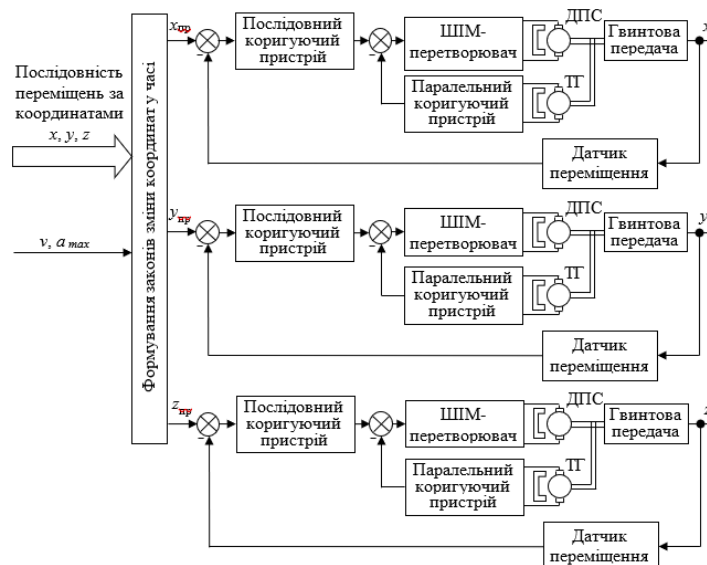


Рисунок 1 – Функціональна схема системи керування приводами подачі фрезерного верстата

Принципова електрична схема системи керування представлена на рис. 2.

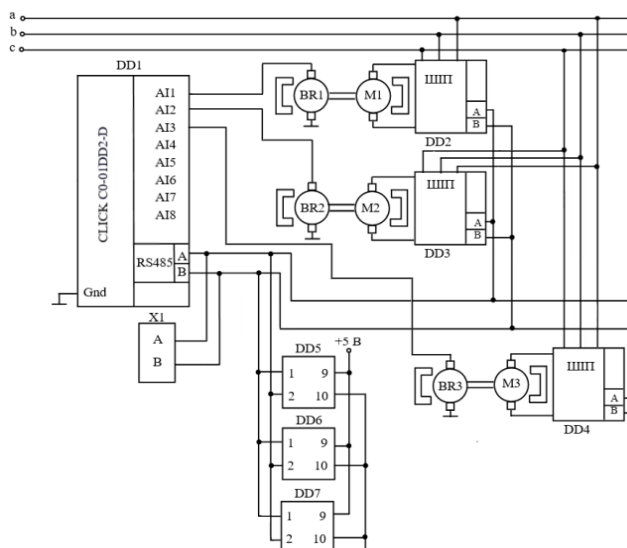


Рисунок 2 – Принципова електрична схема системи керування електроприводами подачі

Перелік елементів схеми наведений в табл. 1.

Таблиця 1

Перелік елементів принципової електричної схеми системи керування електроприводами подачі

Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка
DD1	Контролер CLICK C0-01DD2-D	1	
DD2 - DD4	Привод постійного струму SIEMENS SINAMICS DCM 6RA8028-6DV62	3	
M1 - M3	Двигун постійного струму ПБВ-132ЛГ. P = 5.5 кВт, n = 1000 об/хв.	3	
BR1- BR3	Тахогенератор ТП-80-20	3	
DD5 - DD7	Інкрементальний енкодер HEIDENHAIN ERN-130	3	
X1	Роз'єм RS485	1	До комп'ютера

Розробка динамічної структурної схеми системи керування електроприводами подачі верстата

Враховуючи, що всі три електроприводи є однаковими, для описування їх динаміки використаємо стандартну структурну схему електропривода постійного струму. Двигун постійного струму описується такими передавальними функціями:

$$W_m(p) = \frac{k_m}{T_e T_m p^2 + T_m p + 1}; \quad W_t(p) = \frac{k_t \cdot (T_e p + 1)}{T_e T_m p^2 + T_m p + 1},$$

де $W_m(p)$ - передавальна функція двигуна за вхідною напругою; $W_t(p)$ - передавальна функція двигуна за моментом.

На підставі функціональної схеми (рис.1) складаємо динамічну структурну схему системи автоматичного керування електроприводом механізму подачі фрезерного верстата (рис. 3).

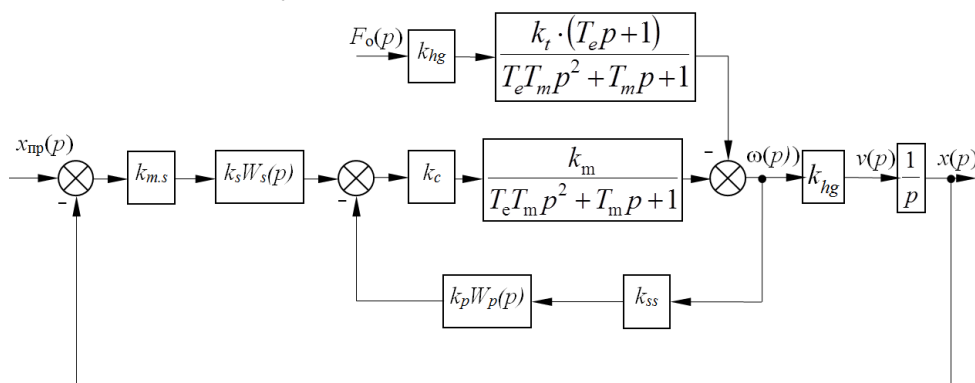


Рисунок 3 – Динамічна структурна схема системи керування

На схемі позначено: F_0 – сила опору; ω – частота обертання двигуна; v – швидкість переміщення стола; T_e, T_m – електромагнітна та електромеханічна постійні часу двигуна; $W_m(p), W_t(p)$ – передавальні функції регуляторів; коефіцієнти трансформації: k_{m_s} – датчика переміщення; k_{ss} – датчика швидкості; k_s, k_p – регуляторів; k_c – перетворювача; k_m, k_t – двигуна за напругою та моментом; k_{hg} – черв'ячної передачі.

Синтез і аналіз системи автоматичного керування електроприводами подач фрезерного верстата

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

Визначаємо бажану передавальну функцію системи автоматичного керування. Асимптотична бажана ЛАЧХ системи керування електроприводами подач фрезерного верстата представлена на рис. 4.

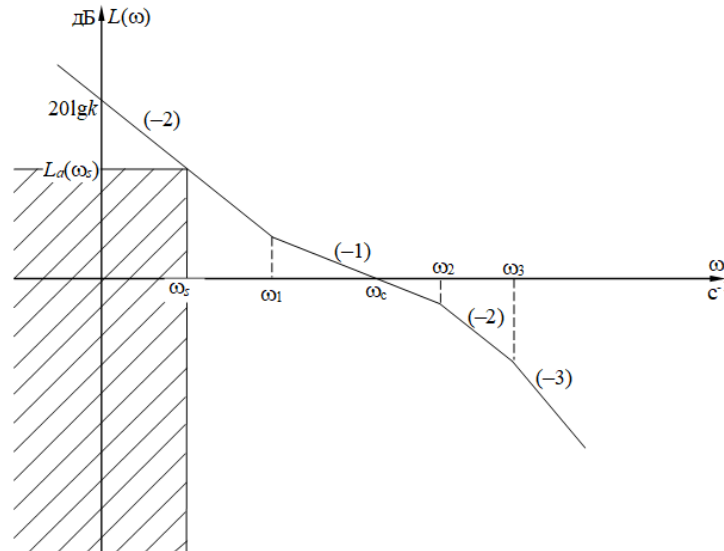


Рисунок 4 – Асимптотична бажана ЛАЧХ системи керування

Побудована асимптотична бажана ЛАЧХ визначає бажану передавальну функцію розімкненої системи:

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

де $T_i = \omega_i^{-1}$; $i = 1 \dots 3$.

Отримана передавальна функція є основою для визначення структури і параметрів коригуючих пристроїв системи керування.

Як паралельний коригуючий пристрій обираємо форсуючу ланку:

$$W_p(p) = k_p \cdot (\tau p + 1),$$

де τ – постійна часу, k_p – коефіцієнт підсилення.

Прирівнюємо передавальну функцію розімкненої системи до бажаної передавальної функції і звідси визначаємо структуру і параметри послідовного корегуючого пристрою:

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

де k_s – коефіцієнт підсилення послідовного корегуючого пристрою.

Визначення дискретних передавальних функцій коригуючих пристроїв

Для визначення дискретних передавальних функцій використовуємо z-перетворення за методом відображення диференціалів, що полягає у підстановці в неперервні передавальні функції $(1 - z^{-1})/T$ замість оператора p , де $T = 1/f_d$ – період дискретизації; f_d – частота дискретизації.

Застосувавши цей метод, отримуємо дискретну передавальну функцію паралельного коригуючого пристрою:

$$W_{p,d}(z) = W_p \cdot \left(\frac{1 - z^{-1}}{T} \right) = k_p \cdot \left(\tau_d \frac{1 - z^{-1}}{T} + 1 \right)$$

Дискретна передавальна функція послідовного коригуючого пристрою:

$$W_{s,d}(z) = W_s \cdot \left(\frac{1 - z^{-1}}{T} \right) = k_s \cdot \frac{T_1 \frac{1 - z^{-1}}{T} + 1}{\left(\frac{1 - z^{-1}}{T} \right)} = k_s \frac{T}{1 - z^{-1}} \cdot \left(T_1 \frac{1 - z^{-1}}{T} + 1 \right)$$

Розрахунок частотних характеристик і визначення запасів стійкості системи керування

Для цього в програмі Mathcad розраховуємо та будуємо ЛАЧХ та ЛФЧХ системи керування електроприводами подач фрезерного верстата.

Оскільки $T_{min} = T_{max} = T_m$, будуємо графіки ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкненої системи керування для максимального та подвійного максимального значень електромеханічної постійної часу (рис. 5).

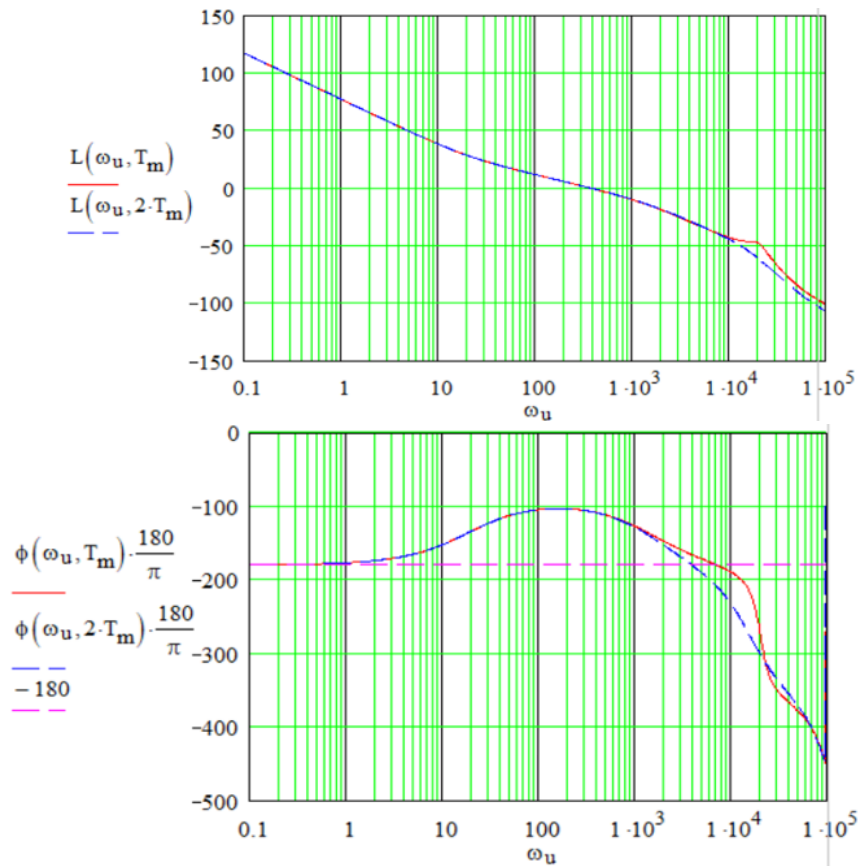


Рисунок 5 – ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкненої системи керування

За отриманими графіками частотних характеристик визначаємо запаси стійкості за фазою $\Delta\varphi$ та амплітудою ΔL :

для $T_m = T_{max}$ $\Delta L = 38$ дБ – запас стійкості за амплітудою, $\Delta\varphi = 72^\circ$ – запас стійкості за фазою;

для $T_m = 2T_{max}$ $\Delta L = 29$ дБ – запас стійкості за амплітудою, $\Delta\varphi = 72^\circ$ – запас стійкості за фазою.

При зміні електромеханічної постійної часу від максимального до подвійного максимального значення система керування залишається стійкою, причому запас стійкості за фазою не змінюється, що свідчить про незмінність перерегулювання та часу перехідного процесу при двократному перевищенні маси об'єкта керування. Таким чином, моделювання динаміки системи керування можна проводити тільки для $T_m = T_{max}$.

Моделювання динаміки системи керування і визначення показників якості керування

Задачею моделювання є розрахунок перехідних процесів у системі керування при відпрацюванні типових вхідних діянь. Для цього було створено модель системи керування електроприводом подачі фрезерного верстата у програмі Simulink (рис.6).

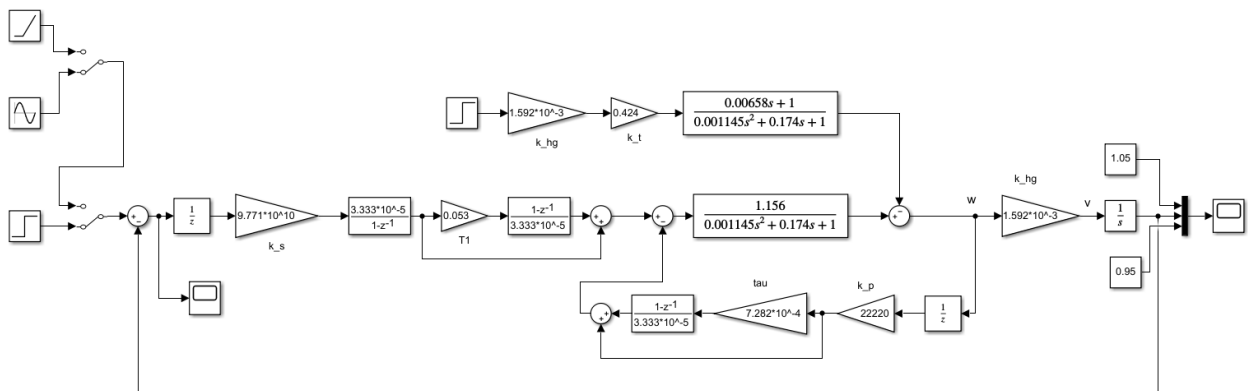


Рисунок 6 – Динамічна модель системи керування електроприводом подачі фрезерного верстата у програмі Simulink

Розроблена модель використовується для обчислення реакції системи на різноманітні вхідні впливи: лінійні, синусоїдальні та ступінчасті. На рис. 7, 8 зображено графік зміни похибки при вхідному лінійно-наростаючому та синусоїдальному вхідному сигналі.

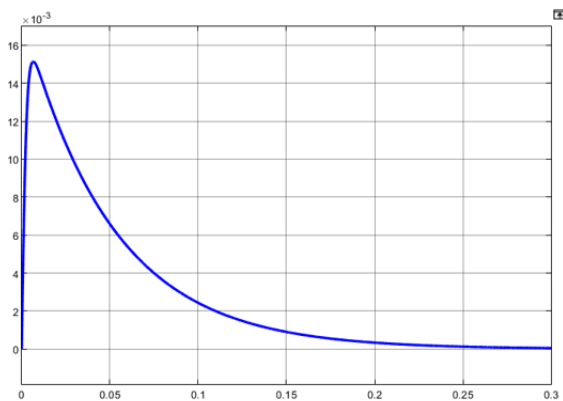


Рисунок 7 – Графік зміни помилки при лінійно-наростаючому вхідному сигналі

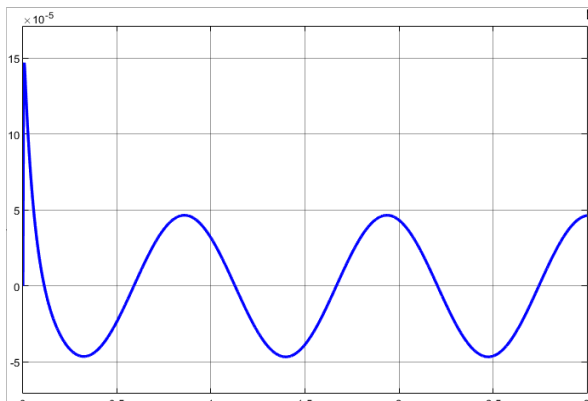


Рисунок 8 – Графік зміни помилки при синусоїдальному вхідному сигналі

Таким чином, моделюванням встановлено, що система керування відповідає вимогам точності, оскільки для двох типових вхідних впливів спостережувана похибка не перевищує заданого максимально допустимого значення $\varepsilon = 0,05$ мм.

Для визначення прямих показників якості керування потрібно подати на вхід системи одиничний сходячковий сигнал. Перехідна характеристика системи представлена на рис. 9.

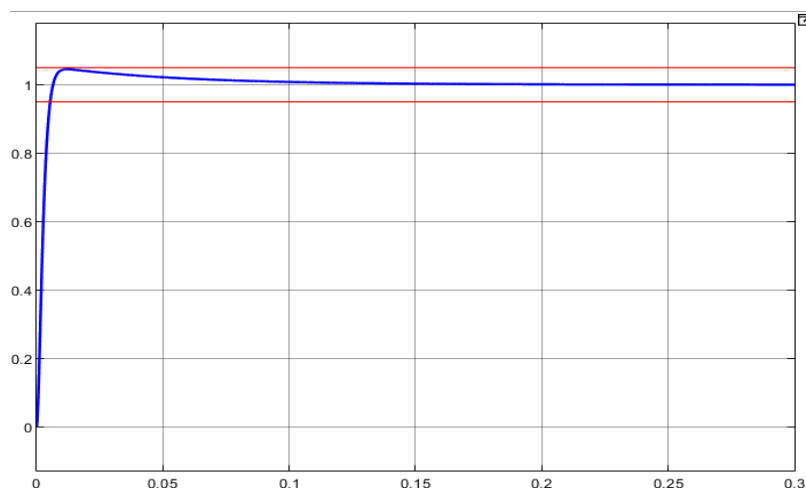


Рисунок 9 – Перехідна характеристика системи керування

За графіком перехідної характеристики (рис. 9), визначаємо прямі показники якості керування: максимальне перегулювання $\sigma_{\max} = 4,56\%$; час перехідного процесу $t_{\text{set}} = 5,45$ мс. Отримані значення показників повністю задовольняють вимогам до якості керування, заданих в початкових умовах.

Висновки. Згідно до поставленої мети, розроблено схему системи автоматичного керування електроприводами вертикально-фрезерного верстата, до структури якої включено: блок проектування законів часової зміни координат та 3 замкнені системи керування, кожна з яких включає датчик переміщення, датчик швидкості, послідовний та паралельний коригуючі пристрої, ШІМ перетворювач, високомоментний двигун постійного струму та черв'ячний редуктор.

Побудовано динамічну структурну схему системи автоматичного керування електроприводом, проведено обчислення динамічних параметрів її основних елементів. Методом асимптотичних бажаних ЛАЧХ визначено структуру та параметри коригувальних пристроїв системи керування електроприводами подач. Методом відображення диференціалів отримано дискретні передавальні функції коригуючих пристроїв, що дозволить реалізувати їх у вигляді програми мікроконтролера.

Розраховані запаси стійкості системи керування при зміні електромеханічної постійної часу від максимального до подвійно максимального значення:

- для $T_m = T_{\max}$ запас стійкості за амплітудою $\Delta L = 38$ дБ; запас стійкості за фазою $\Delta \varphi = 72^\circ$;
- для $T_m = 2T_{\max}$ запас стійкості за амплітудою $\Delta L = 29$ дБ; запас стійкості за фазою $\Delta \varphi = 72^\circ$.

Це означає, що підвищення електромеханічної постійної часу в 2 рази істотно не впливає на зміну перегулювання та часу перехідного процесу, тобто система керування є робастною.

В результаті числового моделювання процесів у системі були визначені показники якості керування: швидкісна та моментна складові похибки $\varepsilon_{уст.шв} = \varepsilon_{уст.л} = 0$; гармонічна складова похибки $\varepsilon_h = 0,047$ мм; максимальне перерегулювання $\sigma_{max} = 4,56\%$; час перехідного процесу $t_{set} = 5,45$ мс. Результати моделювання динаміки систем автоматичного керування електроприводами подач фрезерного верстата показали, що вони повністю задовольняють вимогам до точності та якості перехідних процесів.

Список використаних джерел

1. Числове програмне управління. Ел. ресурс. Режим доступу: <http://infohmc5.blogspot.com/p/6.html>
2. Принципи керування в електроприводі. Ел. ресурс. Режим доступу: https://stud.com.ua/84213/tehnika/printsipi_upravlinnya_elektroprivodi
3. Черно, О.О., Гуров А.П., Васильев О.Г. Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Проектування системи автоматичного керування суднового вантажного маніпулятора»: у 2 ч. Частина 1. Теоретичні основи та методика проектування. Ел. ресурс. Миколаїв, НУК, 2018. 31 с. Ел. ресурс. Режим доступу: https://drive.google.com/file/d/1K7_0h_azl4Sc7jo7S-dBi8m8hqVjbnx4/view?usp=drive_link

УДК 681.5

Серго І.С.

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

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРИВОДАМИ ПРОМИСЛОВОГО МАНІПУЛЯТОРА

Автоматизація виробництва роботами зумовлена ваговими плюсами: збільшення прибутковості виробництва, збільшення продуктивності, економія робочого персоналу та підвищення безпеки виробництва. Одне з важливих питань робототехніки – це модернізація вже існуючих роботів, а саме заміна компонентів обладнання з метою підвищення їх динамічних властивостей, мінімізації зносу механізмів та підтримки відповідності сучасним вимогам.

Метою роботи є вивчення та модернізація системи автоматичного керування електроприводами промислового робота МП-11.

Для досягнення мети потрібно розв'язати наступні завдання:

- розробити принципову електричну схему системи автоматичного керування робота, обрати її основні елементи;
- створити динамічну модель системи автоматичного керування та визначити параметри регулятора;
- провести розрахунки перехідних процесів, що виникають під час керування рухом ланок маніпулятора.

Вибір безколекторних двигунів для приводів рухомих частин маніпулятора

Завдання промислового робота МП-11 – реалізація операцій перенесення та напрямку у просторі компонентів під час автоматизованих технічних робіт (компоновка, металообробка), при паралельній передачі команд керування на ТО, прийняття та логічного аналізу потрібних сигналів [1].

Цей робот представляє собою комплекс, що складається з маніпулятора, який з'єднаний пневмотрубою з вузлом підготовки повітря (ВПП) і кабелями, що йдуть до ПК [1]. Маніпулятор розроблений для виконання операцій транспортування та орієнтування деталей (заготовок) в режимі автоматичної роботи за командою з ПК. Він реалізований у модульному виконанні, обладнаний двома ланками, модулем зсуву і ротації охоплення.

Аналіз показав, що робот МП-11 розрахований на реалізацію операцій з переміщення та спрямування деталей при автоматизованому процесі збирання і містить два маніпулятора з шістьма ступенями рухливості. Доцільною є заміна електричних двигунів постійного струму безколекторними двигунами постійного струму (вентильними), які мають такі переваги, як великий робочий ресурс, достатню захищеність для експлуатації у агресивних середовищах, здатність витримати великі навантаження, високі енергетичні показники (ККД понад 90 %).

Створення принципової електричної схеми системи автоматичного керування робота

Обираємо основні елементи: багатоосьовий контролер руху серії МХС з вбудованими драйверами; оптичні енкодери Series 21; датчики струму ACS712-20A.

Основні технічні характеристики багатоосьового контролера руху серії МХС [2] наведені в таблиці 1.

Технічні характеристики датчика струму ACS712-20A [3]: діапазон вимірювання ± 20 А; чутливість 100 мВ/А.

Принципова електрична схема системи керування електроприводами робота МП-11 наведена на рис. 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики багатоосового контролера руху серії MXC

Архітектура	Живлення постійного струму, модульний багатоосовий контролер руху з головним модулем, підлеглі приводні модулі, опціонально розширений модуль введення/виведення
Вхідна потужність постійного струму	Від 12 до 80 В постійного струму при безперервній сумарній напрузі до 40 А на системну стійку контролера
Вхід живлення Keep-Alive	Від 12 до 80 В постійного струму для підтримки логічного живлення під час відключення основного живлення
Приводи осі	Від 1 до 6 модулів приводу осі на базу системи
Струм осі	До 15 А безперервно, 15 А в піковому режимі (необхідно дотримуватися обмеження стійки 40 А безперервно)
Зв'язок	RS232, Ethernet
Моделі приводу осі вихідного струму	з 5 А або 15 А 1 безперервний
Максимальна вихідна потужність осі	340 Вт безперервно для приводу осі 5 А; 1000 Вт постійно для приводу осі 15 А; сумарна вихідна потужність з усіх осей має бути < 2900 Вт

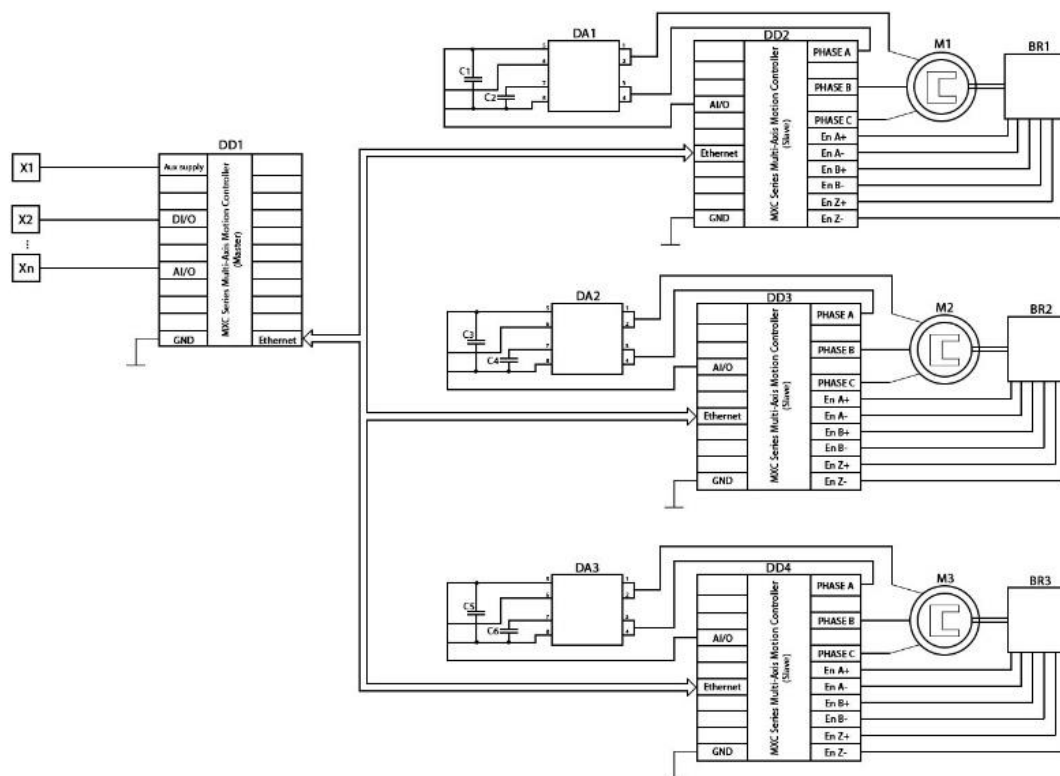


Рисунок 1 – Принципова електрична схема СУ робота МП-11

Позначення та найменування елементів електричної схеми наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Позначення та найменування елементів схеми СУ

Позначення	Найменування	Кількість
X1	Живлення	1
X2, ..., Xn	Датчик зовнішнього стану	Від 1 до n
DD1	Модульний багатоосовий контролер руху з головним модулем	1
DD2, DD3, DD4	Підлеглий приводний модуль	3
DA1, DA2, DA3	Датчик струму ACS712-20A	3
M1, M2, M3	Вентильний двигун	3
BR1, BR2, BR3	Оптичний енкодер	3

Розробка динамічної моделі системи автоматичного керування

У системі застосовуються безколекторні двигуни постійного струму. Їх можна представити наступними передавальними функціями:

$$W_{дн}(p) = \frac{K_d}{T_e \cdot T_M \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1}; \quad W_{дм}(p) = \frac{K_M(T_e \cdot p + 1)}{T_e \cdot T_M \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1},$$

де $W_{дн}(p)$ – передавальна функція двигуна за напругою; $W_{дм}(p)$ – передавальна функція двигуна за моментом.

Оскільки кут повороту ротора двигуна у часі $\theta(t)$ є інтегралом від частоти обертання, передавальні функції $W_{дн}(p)$ і $W_{дм}(p)$ слід помножити на $1/p$. Інтеграл у цифровому регуляторі розраховується за методом трапецій.

Беручи до уваги дані передавальні функції, складаємо структурну схему цифрової системи автоматичного керування (рис. 2).

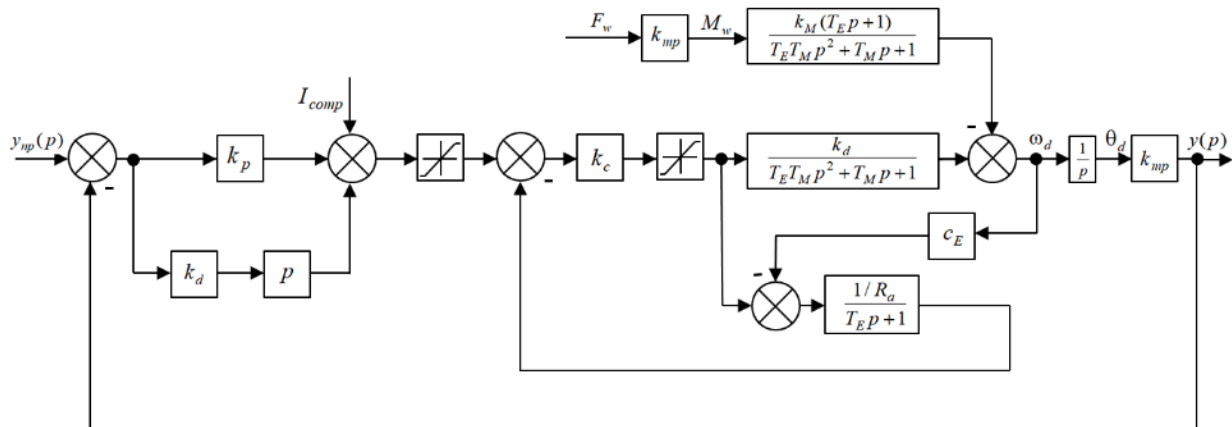


Рисунок 2 – Структурна схема системи керування електроприводом робота МП-11

На схемі 2 прийнято наступні позначення: $y_{нр}(p)$ – вхідний сигнал, k_p – коефіцієнт пропорційного регулятора, k_D – коефіцієнт диференціального регулятора, k_M – коефіцієнт передачі двигуна за моментом, T_e – електромагнітна постійна часу двигуна, T_M – електромеханічна постійна часу двигуна, k_d – коефіцієнт передачі двигуна за вхідною напругою, $y(p)$ – вихідний сигнал.

Період дискретизації процесів обробки сигналів у контролері на порядок менший, ніж найменша із постійних часу двигуна. Тому ці процеси можна вважати безперервними.

На основі динамічної схеми (рис. 2) складаємо динамічну модель у для першого електропривода програми Simulink (рис. 3).

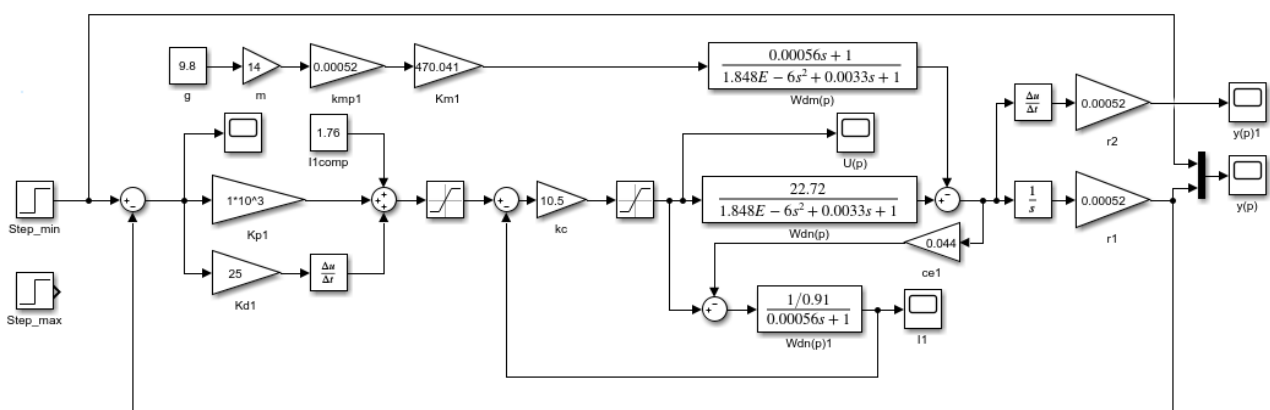


Рисунок 3 – Динамічна модель системи керування першим електроприводом

Задаємо обмеження струму на ± 6 А. На вхід системи подаємо малий сходячковий сигнал величину якого підбираємо так, щоб напруга, що подається на обмотку двигуна, не досягала обмежень ± 40 В. В результаті отримуємо перехідну характеристику лінійної системи, яка наведена на рис. 4.

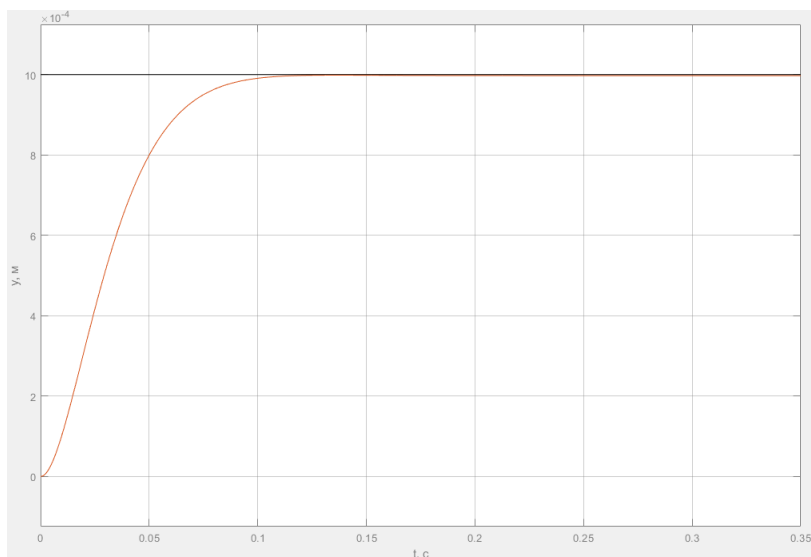


Рисунок 4 – Реакція системи на мінімальний сходишковий сигнал

За графіком можна побачити, що перерегулювання відсутнє. На рис. 5 наведено графіки зміни в часі напруги та струму.

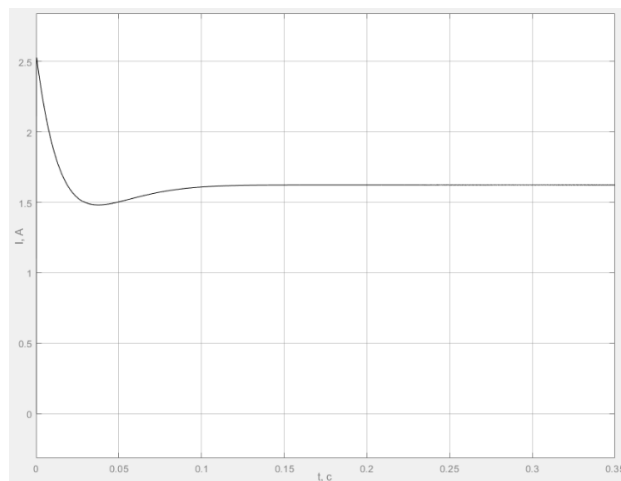
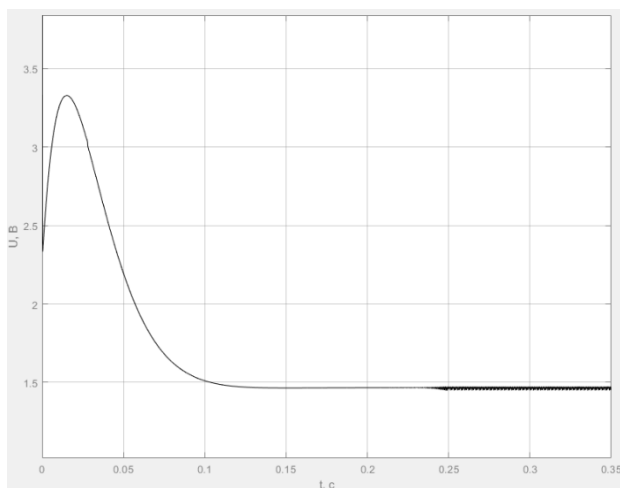


Рисунок 5 – Графіки зміни в часі напруги та струму при мінімальному сходишковому сигналі

Подаємо на вхід системи сходишковий сигнал, що відповідає максимальному вертикальному переміщенню y_{max} . Отримані графіки перехідних процесів наведені на рис. 6 і 7.

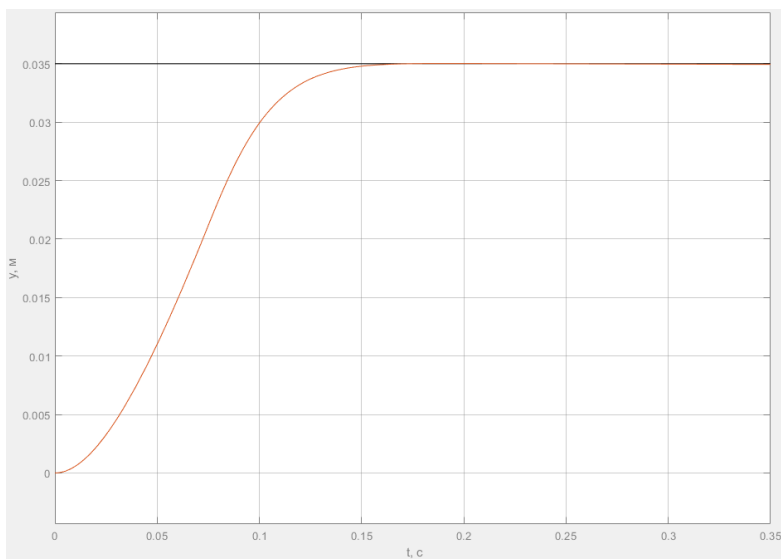


Рисунок 6 – Реакція системи на максимальний сходишковий сигнал

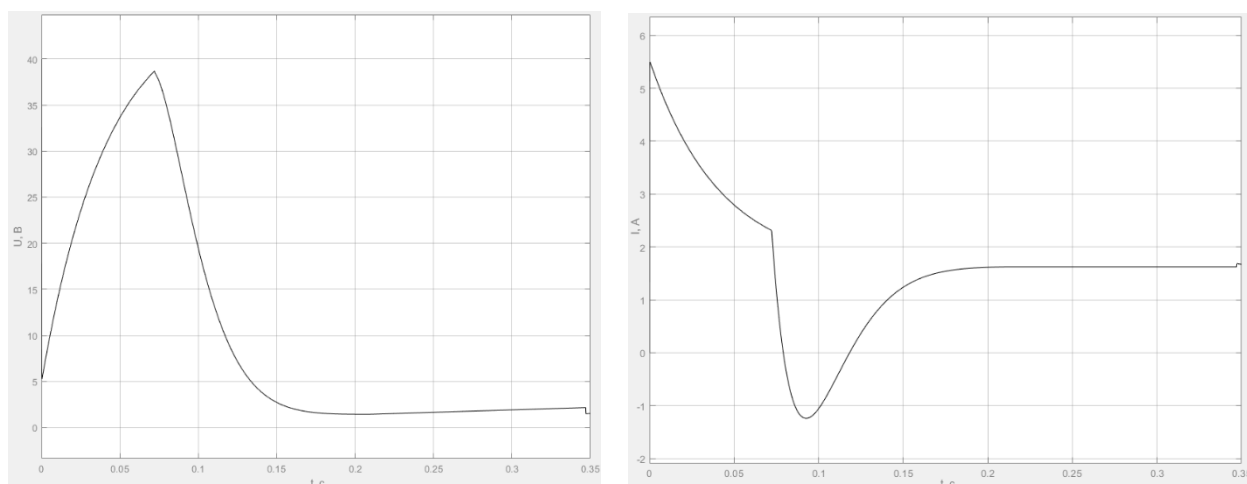


Рисунок 7 – Графіки зміни в часі напруги та струму при максимальному ходінковому сигналі

За графіком зміни координати переміщення $y(t)$ (рис. 6) визначаємо час перехідного процесу як час, за який помилка в системі стає меншою за величину $1 \cdot 10^{-4}$ м (максимальна помилка позиціонування). Цей час дорівнює 0,16 с.

За графіком ми бачимо, що на обмотку двигуна подається максимальна напруга живлення +40 В (рис. 7), потім вона зменшується до величини, яка відповідає струму $I_{\text{comp1}} = 1,76$ А, що компенсує моментну складову помилки.

Аналогічно були розраховані перехідні процеси для другої та третьої ланок. Для другої ланки час перехідного процесу дорівнює 0,41 с, а для третьої – 0,23 с.

Висновки. Згідно до поставленої задачі, розроблено принципову електричну схему системи автоматичного керування електроприводами промислового робота МП-11, обрано її основні елементи. Побудовано динамічні структурні схеми систем керування трьома приводами. До структури керування першою ланкою робота, що забезпечує вертикальний рух, було додано канал компенсації моментної складової помилки, обумовленої вагою ланок.

Розроблені динамічні моделі систем керування приводами ланок, за допомогою яких розраховані перехідні процеси. Визначено параметри ПД-регуляторів, що забезпечують необхідні показники якості керування.

Список використаних джерел

1. Biz, «Загальні відомості» URL: http://www.ni.biz.ua/17/17_6/17_6690_I-obshchie-svedeniya.html
2. Allegro, Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor (datasheet) URL: <https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/0712.pdf>
3. Allied Motion, MXC Series Multi-Axis Motion Controller (datasheet) URL: https://www.alliedmotion.com/wp-content/uploads/datasheets/MXC_MultiAxis_Controller_Datasheet_R1ascrn.pdf

УДК 621.93.06

Топалов А.М., к.т.н., доц.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СУЧАСНИХ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

Мехатронні системи є інтеграцією механічних, електронних, обчислювальних і контрольних компонентів, що працюють як єдине ціле для автоматизації процесів і виконання складних завдань. Сучасні мехатронні системи знаходять застосування в таких галузях, як робототехніка, автомобілебудування, аерокосмічна промисловість, медицина та інші сфери. Мехатроніка вивчає синергетичне об'єднання вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними та комп'ютерними компонентами з метою проектування та виробництва якісно нових модулів, машин, систем та комплексів машин з інтелектуальним керуванням з їх функціональними рухами [1, 2].

У визначенні поняття мехатроніки наголошується синергетичний характер інтеграції складових елементів мехатронних об'єктів. При цьому важливо, що складники не просто доповнюють один одного, а об'єднуються таким чином, що утворені системи мають якісно нові властивості. У мехатроніку всі енергетичні та інформаційні потоки спрямовані на досягнення єдиної мети у реалізації заданого керованого руху. Мехатронні елементи вибираються розробником вже на стадії проектування машин, а потім забезпечуються необхідні інженерна та технологічна підтримка під час виробництва та експлуатації машин. У цьому відмінність мехатронних машин від традиційних, коли користувач часто був змушений самотійно об'єднувати систему в різномірні механічні,

електронні та інформаційні пристрої різних виробників. Саме тому багато складних комплексів показали на практиці низьку надійність і невисоку техніко-економічну ефективність.

Методологічною основою розробки мехатронних систем є методи паралельного проектування. При традиційному проектуванні машин з комп'ютерним управлінням проводяться розробка механічної, електронної, сенсорної та комп'ютерної частин системи, а потім вибір інтерфейсних блоків. Особливість паралельного проектування полягає в одночасному та взаємопов'язаному синтезі всіх компонентів системи.

Мехатронні системи призначені для реалізації заданого руху. Критерій якості виконання руху мехатронних систем – проблемне орієнтування, тобто визначається постановкою конкретного прикладного завдання. Специфіка завдань автоматизованого машинобудування полягає у реалізації переміщень вихідних ланок робочого органу технологічної машини. При цьому необхідно координувати керування мехатронних систем з різними зовнішніми процесами.

1. Сучасні мехатронні системи об'єднують механічні конструкції з електронікою, програмним забезпеченням і сенсорами для досягнення високої точності та функціональності. Важливими складовими є:

- Сенсори: для збору даних про стан системи або навколишнього середовища.
- Приводи: які забезпечують механічний рух.
- Контролери: використовуються для обробки даних і керування приводами.

2. Використання сучасних технологій. Програмовані логічні контролери (ПЛК): є основою керування багатьма мехатронними системами. Цифрові технології: наприклад, мікроконтролери та мікропроцесори, забезпечують ефективну обробку інформації. Інтернет речей (IoT): дозволяє з'єднувати мехатронні системи в глобальні мережі для обміну даними.

3. Модульність та адаптивність. Сучасні мехатронні системи часто мають модульну архітектуру, що дозволяє легко оновлювати або замінювати окремі компоненти. Це зменшує витрати на обслуговування і дозволяє адаптувати систему до нових завдань.

4. Алгоритмічне забезпечення. Основою роботи мехатронних систем є програмне забезпечення, яке реалізує такі функції:

- Алгоритми керування: від простих ПІД-регуляторів до складних методів штучного інтелекту.
- Обробка сигналів: для аналізу даних сенсорів і прийняття рішень.
- Прогнозування стану: використовується для попередження відмов і забезпечення надійності.

5. Енергоефективність. Мехатронні системи проєктуються з урахуванням зниження споживання енергії. Сучасні приводи, електронні компоненти та методи керування сприяють оптимальному використанню ресурсів.

6. Застосування нових матеріалів. Використання композитних матеріалів і нових сплавів дозволяє зменшити вагу систем і підвищити їх довговічність.

В роботі [3] сучасна мехатроніка об'єднує механічну, електричну, електронну та комп'ютерну інженерію, розвиваючись від початкового фокусу на механіці та електроніці. В статті [4] розглядається сучасна мехатроніка в автомобільній галузі і включає такі програми, як автоматичні системи заправки паливом, контроль положення автомобіля, антиблокувальні системи ABS та електронні програми стабілізації, підкреслюючи інтеграцію електромеханічних технологій для підвищення продуктивності та безпеки автомобіля. В роботі [5, 6] сучасна мехатроніка об'єднує механіку, інформатику, електроніку та автоматизацію, розвиваючись разом з Індустрією 4.0. Охоплює такі передові технології, як Інтернет речей, хмарні обчислення та віртуальна/доповнена реальність.

У сучасних мехатронних системах для реалізації високої якості та точності руху застосовуються методи інтелектуального керування. Ця група методів спирається на нові ідеї теорії управління сучасним апаратним і програмним засобом обчислювальної техніки, перспективні підходи до синтезу керованого руху мехатронних систем [7, 8]. В роботі [9] сучасна мехатроніка об'єднує машинобудування, електроніку, інформатику та техніку керування для створення інтелектуальних систем, що підвищує ефективність, точність і безпеку в таких галузях, як виробництво, охорона здоров'я та транспорт, одночасно вирішуючи такі проблеми, як складність інтеграції та взаємодія людини та машини. В роботі [10] сучасна мехатроніка об'єднує електроніку, механіку та інформатику, значно підвищуючи ефективність, точність і адаптивність у таких галузях, як виробництво, автомобілебудування та охорона здоров'я. Основні досягнення включають штучний інтелект та Інтернет речей, заохочення інновацій, сталого розвитку та економічного зростання в різних галузях промисловості.

Висновок. Мехатронні системи є результатом високого рівня інтеграції різних технологій. Їхня побудова базується на використанні передових методів керування, сенсорних технологій та обчислювальних потужностей, що дозволяє створювати адаптивні, точні й ефективні рішення для широкого спектра задач. Сучасні мехатронні системи є ключовим компонентом технологічного прогресу, що об'єднує досягнення механіки, електроніки, програмування та сенсорних технологій. Їх розробка базується на міждисциплінарному підході, що дозволяє створювати гнучкі, надійні та енергоефективні рішення для різних сфер, включаючи промисловість, медицину, робототехніку й транспорт. Таким чином, мехатроніка стає не лише інструментом для автоматизації виробництва, але й основою для створення нових технологічних рішень, які відповідають сучасним потребам суспільства. Її розвиток сприяє переходу до "розумних" систем, що інтегруються в усі сфери діяльності, дозволяючи забезпечити високу якість життя та сталий розвиток.

Список використаних джерел

1. Орловський Б. В. Мехатроніка в галузевому машинобудуванні: навчальний посібник. – К.: КНУТД. – 2018. – 416 с.
2. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Човнюк Ю.В. Мехатроніка. Навчальний посібник. – К., 2012. - 357 с.
3. Pedro, Romero. (2022). 4. Mechatronics Engineering in the Modern World and Its Use in the Construction Industry. doi: 10.4018/978-1-6684-5887-7.ch004
4. Ruoyu, Ma. (2023). 2. An analysis of the application of mechatronics in the modern automotive field. Applied and Computational Engineering, doi: 10.54254/2755-2721/12/20230352
5. Erik, Kucera., Oto, Haffner., Roman, Leskovsky., Jakub, Matisak., Peter, Drahos., Erich, Stark. (2020). 7. Popularization of Mechatronics by Fan Film Inspired by Avengers: Infinity War. doi: 10.1109/KI48306.2020.9039801
6. Erik, Kucera., Oto, Haffner., Roman, Leskovský., Jakub, Matisak., Peter, Drahos. (2019). 8. The Use of Modern Multimedia Trends for Popularization of Mechatronics by Presenting Its Present and Future Application. doi: 10.15439/2019F182
7. Oksana, Nass., Сандугаш, Бекенова., Anargul, Bekenova., Z., Mutalova. (2023). 5. Combination of mechatronic engineering and artificial intelligence technology. Ğylym žāne bilim, doi: 10.52578/2305-9397-2023-2-3-127-135
8. Jingyi, Bai. (2023). 6. Research on the Application of Mechatronics System in Mechanical Engineering. Advances in Engineering Technology Research, doi: 10.56028/aetr.3.1.476
9. Virendra, Jain. (2024). 9. Mechatronics and automation. doi: 10.58532/v3bfme2p1ch1
10. Abimbola, Oluwatoyin, Adegbite., Chinedu, Nnamdi, Nwasike., Nwabueze, Kelvin, Nwaobia., Joachim, Osheyor, Gidiagba., Oseluole, Tobi, Enabor., Samuel, Onimisi, Dawodu., Adedayo, Adefemi., Chinedu, Alex, Ezeigweneme. (2023). 1. Mechatronics in modern industrial applications: Delving into the integration of electronics, mechanics, and informatics. World Journal Of Advanced Research and Reviews, doi: 10.30574/wjarr.2023.20.3.2561

СЕКЦІЯ 2. ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ

УДК 621.314

Вінниченко І.Л., к.т.н., доц., Гончаренко В.М.

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

РЕЗОНАНСНІ ОБЕРНЕНОХОДОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОЇ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Зростання кількості автономних споживачів електроенергії, як для споживачів, так і для промислових цілей, що потребують портативного джерела живлення, призводить до необхідності вдосконалення існуючих пристроїв для їх зарядки. Ця проблема може бути актуальною для суден-рефрижераторів, вантажопідйомність яких досягає 8-12 тис. тонн. Для виконання такого обсягу навантажувальних робіт потрібна відповідно значна кількість мобільних електронавантажувальних механізмів. Ймовірний паралельний процес зарядки їх акумуляторів може викликати актуальну проблему створення енергоефективних зарядних пристроїв, які мінімально впливатимуть на якість електроенергії в електромережі. Актуальною проблемою є створення енергоефективних зарядних пристроїв, які мінімально впливатимуть на якість електроенергії в мережі під час зарядки акумуляторів. Тому дослідження зворотніх перетворювачів живлення, які можуть бути успішно застосовані як в процесі безконтактної зарядки акумуляторів малої резервної ємності, так і акумуляторів, що використовуються в якості джерела живлення бортових мереж середньої потужності, **є актуальною задачею.**

Метою роботи є розвиток теорії резонансних оберненоходових перетворювачів, спрямований на поліпшення енергетичної ефективності з одночасним підвищенням електромагнітної сумісності зі споживачем та мережею живлення у широкому діапазоні зміни навантаження.

Застосування резонансних і квазірезонансних схем з комутацією транзисторів при нульових значеннях струму і напруги в поєднанні з імпульсним регулюванням дозволяє повною мірою використовувати переваги кожного з підходів, у тому числі підвищити ККД перетворювача, зменшити габаритні розміри пристрою і забезпечити електромагнітну сумісність зарядного пристрою з мережею [5, с. 101].

Застосування резонансного зворотно-прохідного перетворювача для передачі електроенергії з використанням у своїй роботі паразитних параметрів трансформатора не є канонічним і дозволить виключити зі схеми зовнішні резонансні реактивні елементи. Тому такий підхід потребує додаткового вивчення.

При проектуванні зарядного пристрою, в тому числі бездротового, розробник виходить з його здатності забезпечувати задану форму кривої зарядної напруги та ефективно контролювати цю форму.

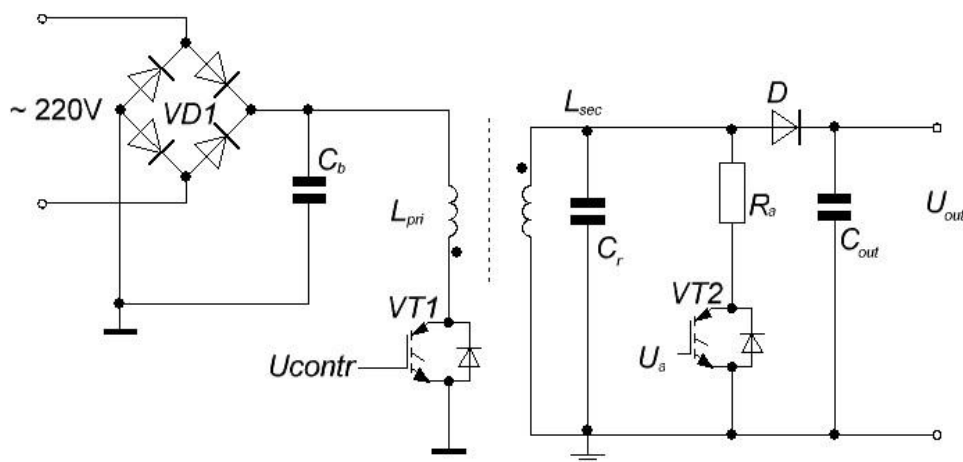


Рисунок 1 – Схема резонансного зворотного перетворювача для безконтактної зарядки акумулятора

Вхідна змінна напруга, випрямлена діодним мостом VD1 і відфільтрована конденсатором Cb. Трансформатор з повітряним зазором, утворений магнітнозв'язаними індукторами Lpri і Lsec, дозволяє розділити нерухому і рухому частини перетворювача. Резонанс виникає між власними параметрами трансформаторів, які включають як індуктивність витку Ls, так і паразитну ємність обмоток трансформатора Cr1 і додаткового резонансного конденсатора Cr2. Акумулятор умовно зображується як конденсатор Cout. Діод D дозволяє розділяти прямий і зворотний напрямки передачі енергії в ланцюзі. Напругу батареї Uвих слід контролювати через особливості процесу зарядки батареї, особливо через вимогу до процесу так званого швидкого заряду, який повинен зупинятися на 70% від номінальної вихідної напруги батареї.

Для моделювання роботи оберненоходового перетворювача для безконтактної зарядки акумулятора та перевірки аналітичних залежностей, що описують електромагнітні процеси в ланцюзі живлення перетворювача, моделювання реалізовано в LTspice. Зарядний струм iout батареї, який представлений у моделі з конденсатором

$C3 = 200$ мкФ, є високочастотним імпульсним трикутником, згідно з передумовами для побудови аналітичних залежностей, що описують електромагнітні процеси.

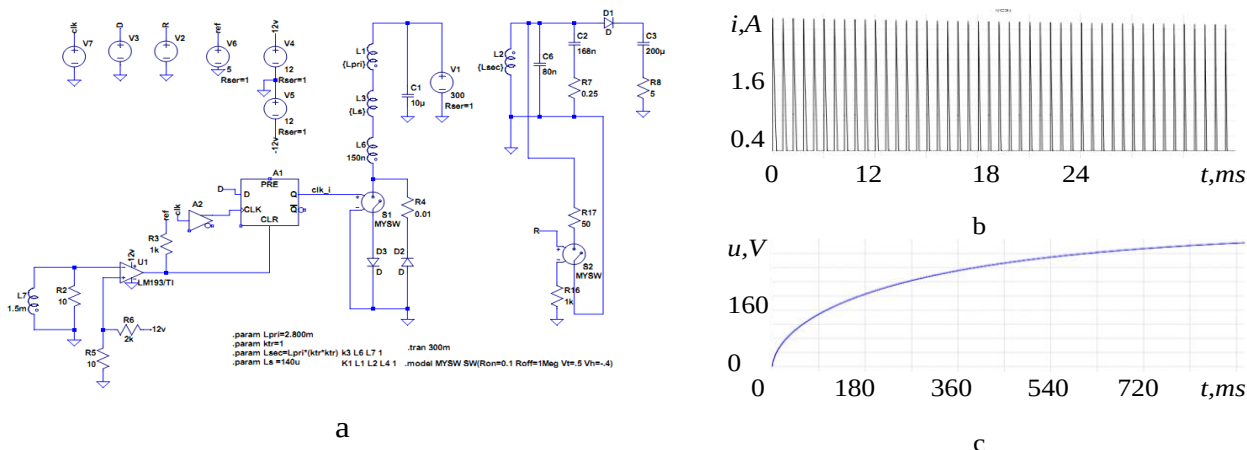


Рисунок 2 – Моделювання роботи резонансного обернено ходового перетворювача

На рис. 2, показана форма зарядної напруги батареї з постійними інтервалами часу між керуючими імпульсами, що подаються на транзистор VT1 (рис. 1), представлений в моделі ідеальним ключем S1 з діодами D2-D3.

Висновки. Проаналізовано сучасний стан проблеми безконтактної передачі енергії та перетворювачів, які застосовуються для виконання даної задачі. Розглянуто оберненоходовий перетворювач для безконтактної зарядки акумулятора, в якому резонансний контур утворений індуктивністю розсіювання трансформатора та додатковим резонансним конденсатором. Проаналізовано роботу перетворювача протягом одного робочого циклу, який включає інтервал часу між початками двох наступних імпульсів керування. Перемикання силового транзистора відбувається при нульових значеннях струму. Проведено моделювання оберненоходового резонансного перетворювача для зарядки акумуляторів.

Список використаних джерел

1. Pressman, A., Billing, K., T. Morey (2009). Switching power supply design, 3rd ed. The McGraw-Hill Companies, 880 p.
2. Bose, B. (2002). Modern power electronics and AC drives. Prentice-Hall Inc., 738 p.
3. Montes, O. A., Son, S., Kim, S., Seok, H., Lee, J. S., Kim M. (2017). Forward-flyback resonant converter for high-efficient medium-power photovoltaic applications. IEEE Applied power electronics conference and exposition (APEC), pp. 1223-1228. Doi: 10.1109/APEC.2017.7930851
4. Xu, S., Shen, W., Qian, Q., Zhu, J., Sun W., Li, H. (2019). An efficiency optimization method for a high frequency quasi-ZVS controlled resonant flyback converter. IEEE Applied power electronics conference and exposition (APEC), pp. 2957-2961. Doi: 10.1109/APEC.2019.8722026
5. Pavlov, G., Vinnichenko, I., Pokrovskiy, M. (2018). Estimation of energy efficiency of the frequency converter based on the resonant inverter with pulse-density control. Proc. of IEEE 3rd international conference on intelligent energy and power systems (IEPS), pp. 101-105. Doi: 10.1109/IEPS.2018.8559499.
6. Moradewicz, A. Contactless energy transmission system with rotatable transformer - modeling, analyze and design (PhD Thesis) (2008). Poland, Warsaw: Electrotechnical Institute, 118 pages.
7. Matias, R., Dinis, J., Fonseca, J. A., Ferreira, J., Pedreiras, P. (2015). Energy issues of bike sharing systems: From energy harvesting to contactless battery charging. IEEE 24th international symposium on industrial electronics (ISIE), pp. 288-293. Doi: 10.1109/ISIE.2015.7281483
8. Li, T., Wang, X., Zheng, Sh., Liu, Ch. (2018). An efficient topology for wireless power transfer over a wide range of loading conditions. Energies, 11(141), pp. 1-16. Doi: 10.3390/en11010141
9. Wu, S. Chang, Yo., Chang, Ch., Cheng, Y. (2019). A fast charging balancing circuit for LiFePO4 battery. Electronics, 8, p. 1144-1159. Doi: 10.3390/electronics8101144
10. Chen, M., Rincon-Mora, G. A. (2007). Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and I-V performance. IEEE Transactions on Energy Conversion, 21(2), pp. 504-511. Doi: 10.1109/TEC.2006.874229.

УДК 519.6

Верецаго Є. М.¹, к.т.н., Стогнієнко Є. В.¹, Маслик В. С.², Єременко А. П.¹¹Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв²Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"ЦИФРОВЕ КЕРУВАННЯ ІМПУЛЬСНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ПЛАЗМОТРОНІВ:
СИНТЕЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ

Електротехнологічні процеси з використанням дугових плазмотронів займають важливе місце в сучасній обробці матеріалів. Важливим елементом систем плазмоого різання, нанесення покриттів та зварювання є ефективне джерело живлення, яке має забезпечувати стабільну роботу дуги та високу продуктивність [1,2].

Сучасні дослідження підтверджують переваги цифрових систем керування перед аналоговими, зокрема через можливості оновлення вбудованого програмного забезпечення, інтеграції складних алгоритмів і адаптивності до динаміки навантаження. Втім, розроблення ефективних систем керування пов'язане зі значними викликами. Система керування має забезпечувати компенсацію нестационарних збурень та інваріантність характеристик [1–3].

Метою роботи є синтез та оптимізація цифрової системи керування імпульсним джерелом живлення з м'яким перемиканням. Система має забезпечувати високу точність стабілізації дугового струму, низькі пульсації та швидкі перехідні процеси, а також ефективно компенсувати параметричні та координатні збурення.

Розробка цифрових систем керування для джерел живлення активно досліджується. Пропонується використання комбінованого імпульсного стабілізатора напруги з астатизмом другого порядку, що викликається $\Delta U_{вх}$ [4], впровадження цифрових систем керування [5], моделювання і синтез систем управління із застосуванням MATLAB/Simulink [6]. Такі дослідження довели ефективність цифрових алгоритмів для компенсації нестационарних характеристик навантаження. Основними недоліками цих робіт є недостатня увага до комплексного аналізу впливу збурень та відсутність оптимізації динамічних параметрів стабілізатора.

Основні виклики при розробці систем управління для джерел живлення плазмотронів: нестационарність дугового навантаження, яке характеризується від'ємним диференціальним опором; компенсація збурюючих впливів, викликаних зміною вхідної напруги та опору навантаження; скорочення перехідних процесів і мінімізація пульсацій вихідного струму. Для вирішення цих задач пропонується комбіноване управління, що включає: стабілізацію вихідного струму за допомогою ПІ-регулятора; компенсацію зовнішніх збурень.

Система, що досліджується, включає електричну дугу як навантаження та компоненти системи стабілізації струму, серед яких блоки перетворення сигналів, ШІМ та незмінна частина. Структурна схема цифрового керування перетворювачем показана на рис. 1. Мікроконтролер може виконувати окрім безпосередньо керування також інші функції, зокрема перетворення і складання сигналів.

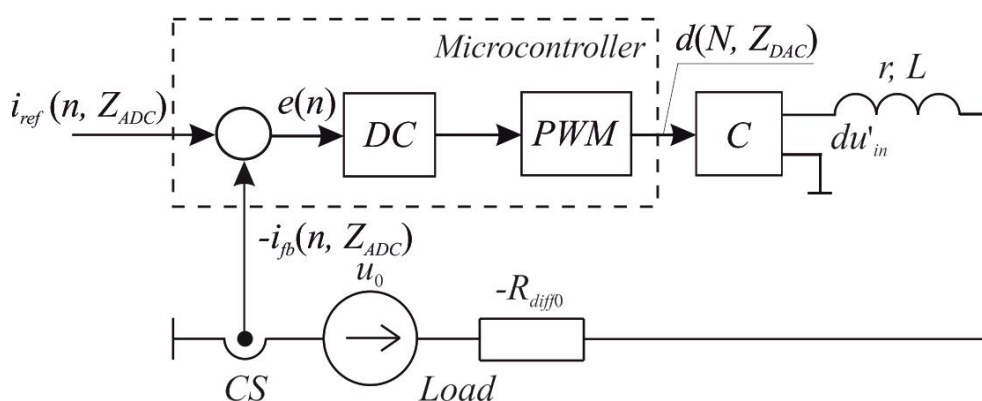


Рисунок 1 – Структурна схема цифрового керування перетворювачем

Передатна функція незмінної частини (C) має вигляд

$$W_0(s) = \frac{k_0}{1 + \tau s},$$

де параметри: k_0 – коефіцієнт підсилення, $k_0 = 12,81$;

τ – постійна часу силового контуру, $\tau = 625 \cdot 10^{-6}$ с.

Ця передатна функція враховує особливості дугового навантаження, зокрема його від'ємний диференціальний опір.

Для налаштування ПІ-регулятора використано інструмент *PID Tuner* у MATLAB/Simulink, що дозволяє оптимізувати параметри за заданими критеріями [6]. Початкові коефіцієнти обчислені за методом Зігlera-Нікольса [7]:

$$k_P = \frac{0,9\tau}{k_0 \tau_0} = 4,391; \quad k_I = \frac{0,3\tau}{k_0 \tau_0^2} = 146070,$$

де τ_0 – час запізнення системи, $\tau_0 = 10^{-5}$ с.

Оптимізовані параметри ПІ-регулятора:

- Пропорційний коефіцієнт $k_P = 2,48$.
- Інтегральний коефіцієнт $k_I = 11,800$.

На рис. 2 показано логарифмічні частотні характеристики системи з ПІ-регулятором.

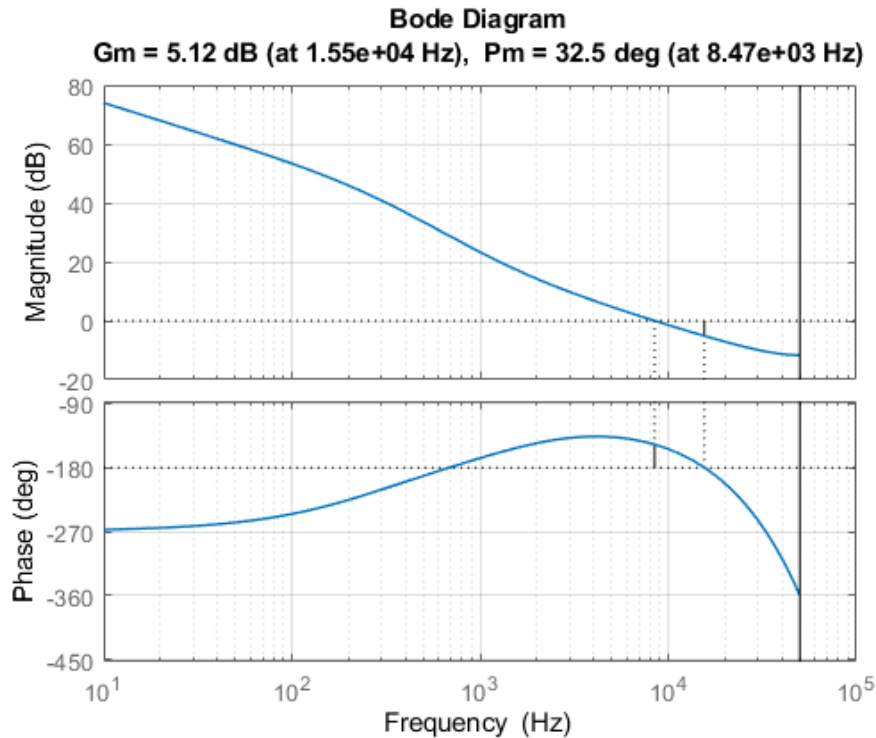


Рисунок 2 – Логарифмічні характеристики замкненої системи

Аналіз амплітудно-частотних характеристик показав стабільність замкненої системи. Запаси стійкості:

- За фазою: $32,5^\circ$.
- За амплітудою: 5,12 дБ.

Ширина смуги пропускання для стабілізації дугового струму – 20 kHz.

Для забезпечення стабільності вихідного струму потрібно враховувати як координатні, так і параметричні збурення. Основні джерела збурювань:

1. Вхідна напруга (U_{in}) – впливає на вихідний струм як параметричне збурення через зміну коефіцієнта передачі силового ланцюга.
2. Вихідна напруга (U_{out}) – впливає як адитивне збурення, що викликає коливання струму.
3. Опір навантаження (R_{diff0}) – різке збільшення цього параметра може викликати небажані стрибки струму.

З метою компенсації збурень, спричинених змінами вхідної напруги використовується рівняння

$$\tilde{d} = k_u \tilde{U}_{in},$$

де k_u – коефіцієнт передачі компенсаційного каналу,

$\tilde{U}_{in}$ – змінна складова вхідної напруги.

Для усунення впливу вихідної напруги використовується додатний зворотний зв'язок:

$$\Phi(s) = -1 + W_f(s) \frac{nU_{in}}{U_m},$$

де $W_f(s) = \frac{U_m}{nU_{in}}$ – передатна функція зворотного зв'язку за напругою;

n – коефіцієнт трансформації;

U_m – максимальна напруга.

Цифрова система керування забезпечує перехідні характеристики, показані на рис. 3.

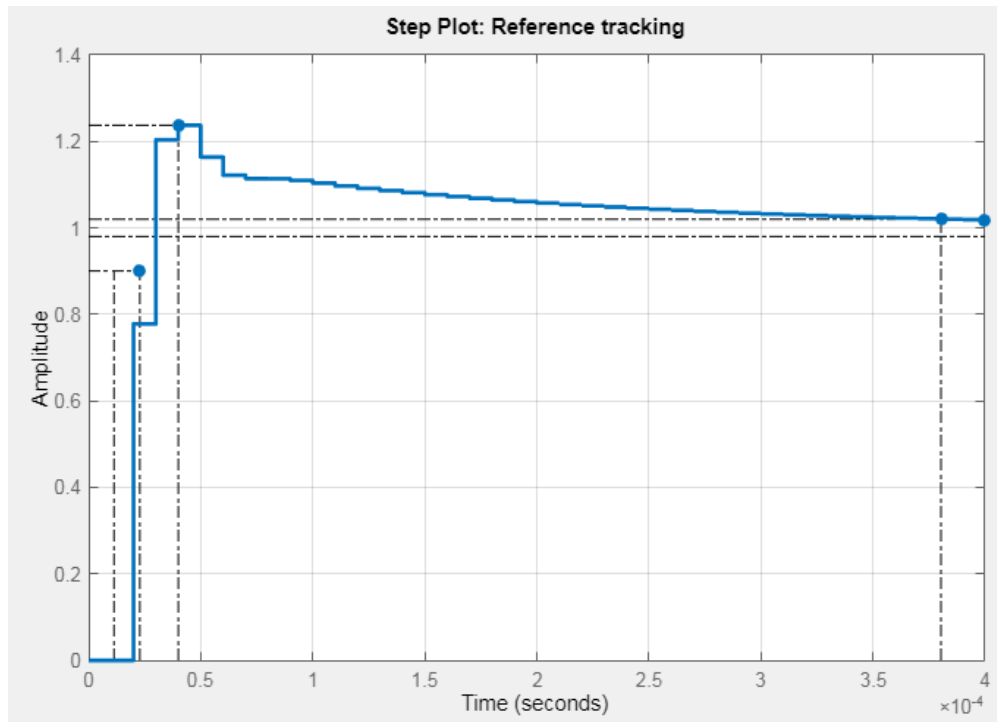


Рисунок 3 – Перехідний процес

Час регулювання $t_{\text{per}} = 0,35$ мс, перерегулювання $\sigma \leq 23$. Це підтверджує відповідність системи заданим показникам якості.

Виготовлений зразок імпульсного стабілізатора на базі DSP TMS320F2835 успішно протестовано. Результати показали, що коливання напруги на дузі під час запалювання та різання відсутні, а пульсації вихідного струму у стаціонарному режимі не перевищують 4.57 %.

На рис. 4 показано експериментальні осцилограми струму і напруги дуги під час різання.

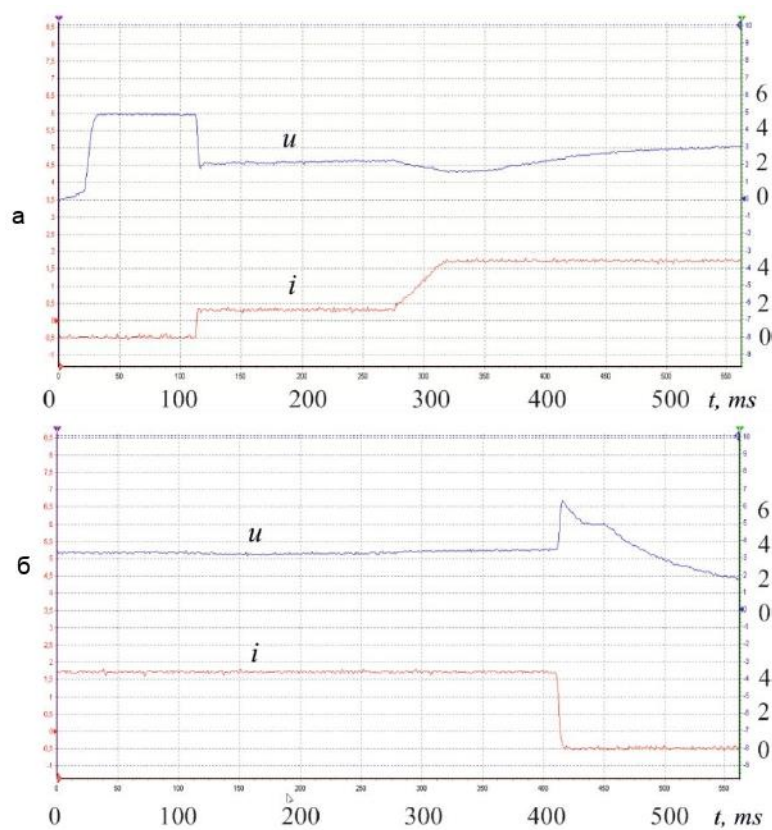


Рисунок 4 – Осцилограми процесу різання

Висновки. Розроблена комбінована цифрова система керування забезпечує стабільність дугового процесу навіть за значних збурень. Висока точність стабілізації досягнута завдяки адаптивному керуванню та корекції параметричних збурень. Виготовлений зразок довів свою ефективність у реалістичних умовах роботи плазмотронів. Для подальших досліджень доцільно зосередитися на: синтезі комбінованих систем управління з використанням як зворотного зв'язку, так і методів компенсації та впровадженні ПІ-регуляторів із автоматичним налаштуванням для стабілізації дугового струму.

Список використаних джерел

1. Верещачо Є.М., Костюченко В.І., Новогорецький С.М. Аналіз динамічних характеристик інвертора для дугового навантаження // Техн. електродинаміка. 2020. № 5.
2. Vereshchago E., Kostuchenko V., Stohniienko Y. Synthesis of a control system of a pulse converter for plasmatron power supply // IEEE KhPI week on advanced technology. 2023. P. 394–397.
3. Rudenko Y.V. Method of averaging the model of pulsed DC voltage converters // Technical Electrodynamics. 2017. No. 3. P.42-48.
4. Turovsky O.L., Lisenko D.O. A dynamic model of a combined pulse voltage stabilizer for telecommunications with astatism of a different order. Naukovi zapysky Derzhavnoho universytetu informatsiino-komunikatsiinykh tekhnolohii. 2024. No 1(5). Pp. 120–129.
5. Krasnobaev Y.V., Nepomnyashchiy O.V., Ivanchura V.I., Pozharkova I.N., Yablonsky A.P. Pulse voltage stabilizer with digital control for an autonomous power supply system. Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2018. Vol. 329. No 11. Pp. 61–73.
6. MathWorks. Matlab documentation. Using simulink for power electronics. <https://www.mathworks.com/help/simulink>.
7. Ziegler J.G., Nichols N.B. Optimum settings for automatic controllers // Trans. ASME. 1942.
8. Vashchenko A.V., Kuleshov S.A. PWM models for plasma arc control // International Journal of Power Electronics. 2021.
9. Johnson R.C., Lin F.J. Modern digital control systems. Springer, 2017.
10. Ткаченко О.О., Сиченко Л.М. Автоматичне налаштування ПІ-регуляторів у дугових системах // Електротехніка і електромеханіка. 2023.

УДК 621.314

Обрубов А.В., д.т.н., доц., Савіцкас О.С.

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв

ВИЗНАЧЕННЯ КВАЗІСТАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РЕЗОНАНСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ДІОДНИМ ВИПРЯМЛЯЧЕМ

Резонансний перетворювач електроенергії (далі РП) представляє собою імпульсну систему періодичної дії, в роботі якої використовується явище резонансу електричних кіл. Це дає змогу поліпшити енергетичні характеристики та досягти бажаних значень вихідних величин РП [1, 2]. Відомо, наприклад з курсів основ електротехніки або радіотехніки [2], що динаміка процесів електричних кіл розглядається як сукупність перехідних, вимушених та сталих складових. Сталі складові процесів в силовій схемі РП можна використати для визначення статичних характеристик, максимальних та мінімальних довготривалих значень вихідних величин, ККД, робочих областей тощо. Але періодичний імпульсний характер роботи РП призводить до того, що в пасивній частині силової схеми постійно відбуваються перехідні процеси. Тому для РП можливо визначити так звану квазістатичну математичну або імітаційну модель [3], справедливую для квазісталих режимів, коли вхідні величини постійні і перехідні процеси періодично повторюються [4].

Ціллю роботи є визначення квазістатичної моделі РП, яка дасть змогу розрахувати статичні характеристики та визначити діапазони зміни вихідних величин.

В якості прикладу розглядається схема заміщення РП з двома еквівалентними генераторами на рис.1, які імітують два керованих мости з джерелами напруги. Перший еквівалентний генератор $EG1$ імітує мостовий інвертор напруги з силовими керованими вентилями $V_1 - V_4$, а другий $EG2$ – мостовий діодний випрямляч на діодах VD_1 і VD_4 . Модуючими функціями для напруг еквівалентних генераторів є напруга живлення інвертора $u_s(t)$ і напруга навантаження $u_q(t)$. RLC -коло РП представляє собою пасивний чотириполюсник. В квазістаціонарному режимі джерело живлення є джерелом постійної напруги U_s , а споживач енергії з протиположним ЕРС є джерелом постійної напруги U_q . Робоча частота, амплітуди і фази усіх змінних величин схеми є постійними. Струм контуру, направлений по часовій стрілці, вважається позитивним. Коли струм направлений по напрямку ЕРС, то знаки струму і ЕРС вважаються однаковими.

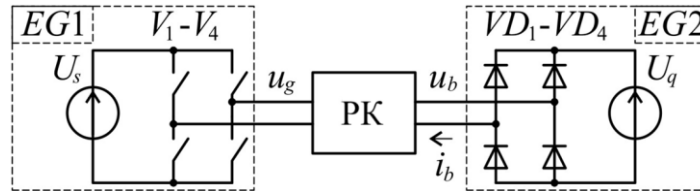


Рисунок 1 – Схема заміщення двомостового резонансного перетворювача: PK – резонансне RLC-коло

Квазістатистий струм k -того еквівалентного генератора в загальному вигляді запишеться як сума з N складових стаціонарного струму $I_{skj}(\sigma, x_j)$, викликаних кожним еквівалентним генератором окремо

$$I_{sk}(\sigma, x_{sk}) = I_{sk}(\sigma, x_1 \dots x_N) = \sum_{j=1 \dots N} I_{skj}(\sigma, x_j),$$

де σ – змінна відносного часу всередині періоду дискретності. Відносні зміщення кожної j -тої складової стаціонарного струму x_j визначають загальне відносне зміщення стаціонарного струму $x_{sk} = f(x_1 \dots x_j \dots x_N)$. Складові стаціонарного струму, що викликана j -тим еквівалентним генератором з двополярними прямокутними імпульсами напруги $u_{gj}(\sigma)$ з відносною шириною $\gamma_j = 0 \dots 0.5$ в долях періоду, має вигляд

$$I_{skj}(\sigma, x_j) = U_j \left(\frac{sf_{kj}(\sigma, -\delta_j - x_j) - sf_{kj}(\sigma, -\delta_j - \gamma_j - x_j) - (-sf_{kj}(\sigma, -0.5 - \delta_j - x_j) + sf_{kj}(\sigma, -0.5 - \delta_j - \gamma_j - x_j))}{2} \right),$$

де початкове положення імпульсів може знаходитися на границях напівперіодів, тоді $\delta_j = 0$, або для центрованих в напівперіодах імпульсів при $\delta_j = (0.5 - \gamma_j)/2$. Чотири складові в правій частині відповідають чотирьом ступеням напруги j -того еквівалентного генератора u_{gj} , які утворюють позитивний і негативний прямокутні імпульси амплітудою U_j .

Згідно зі схемою заміщення на рис.1. можна записати вирази квазістатистичного струму другого еквівалентного генератора EG2 для обох еквівалентних генераторів схеми заміщення:

- загальний квазістатистичний струм 2-го еквівалентного генератора (споживача)

$$I_{s2}(\sigma, v) = I_{s21}(\sigma, 0) + I_{s22}(\sigma, v), \quad (1)$$

де вирази для складових наступні:

- складові струму від 1-го еквівалентного генератора (джерела електроенергії)

$$I_{s21}(\sigma, 0) = U_{m1} \cdot (sf_2(\sigma, 0) - sf_2(\sigma, -\gamma_1) - sf_2(\sigma, -0.5) + sf_2(\sigma, -0.5 - \gamma_1)),$$

- складові струму від 2-го еквівалентного генератора (споживача електроенергії)

$$I_{s22}(\sigma, v) = U_{m2} \cdot (sf_2(\sigma, -v) - sf_2(\sigma, -\gamma_2 - v) - sf_2(\sigma, -0.5 - v) + sf_2(\sigma, -0.5 - \gamma_2 - v)),$$

де U_{m1} і U_{m2} – амплітуди напруг еквівалентних генераторів, v – варіативне зміщення. Положення імпульсів напруги першого еквівалентного генератора на початку кожного напівперіоду коливань прийнято як початкове положення і тому тут $x_1 = 0$ (див. вирази вище), а положення імпульсів другого еквівалентного генератора відносно імпульсів першого генератора є варіативним $x_2 = v = var$ і змінюється для досягнення умов узгодження фази напруги і струму. Загальне зміщення стаціонарного струму 2-го еквівалентного генератора (1) буде функцією варіативного зміщення $x_2 = f(v)$. Варіативне зміщення напруги другого еквівалентного генератора відносно напруги першого може приймати такі значення $v = 0 \dots -(0.5 - \gamma_{1,2})$, при яких передні або задні фронти імпульсів напруги другого еквівалентного генератора, що зміщується, не виходили б за межі періоду коливань.

Квазістатична модель РП може бути визначена як динамічна модель для малих відхилень поточних середніх величин при наближенні до квазістатичного режиму. Для даного РП модель буде містити чотири передатні функції відносно двох пар виводів РК, які можуть бути входами і виходами для різних величин. Якщо вхідними величинами є модулюючі напруги, а вихідними величинами – струми еквівалентних генераторів, передатні функції матимуть сенс операторних провідностей

$$Y_{11}(z, m_g) = i_g(z)/u_s(z), \quad Y_{12}(z, m_b) = i_g(z)/u_q(z), \quad (2a)$$

$$Y_{21}(z, m_g) = i_b(z)/u_s(z), \quad Y_{22}(z, m_b) = i_b(z)/u_q(z), \quad (26)$$

де перші індекси – номери виходу, другі – номери входу РК, параметри m_g – зміщення елементарного імпульсу вихідної напруги інвертора, m_b – зміщення елементарного імпульсу вхідної напруги випрямляча. Всі операторні провідності (2) матимуть однакові вирази з різними параметрами зміщення [5].

Задача узгодження фаз вхідної напруги u_b і вхідного струму i_b випрямляча на діаграмі (2) рис.2 зводиться к визначенню такого варіативного зміщення v між імпульсами першого і другого еквівалентних генераторів ($EG1$ і $EG2$), при якому процеси в схемі з ідеальними еквівалентними генераторами будуть ідентичними процесам в силовій схемі РП. А саме, напруга і струм другого еквівалентного генератора $EG2$ будуть протифазними, як вхідна напруга і струм діодного випрямляча, який працює на протифазного навантаження U_q . Це ілюструють графіки узгоджених вхідних напруги u'_b і струму i'_b діодного випрямляча на діаграмі (3) рис.2.

Треба зазначити, що умовно незалежні ідеальні еквівалентні генератори $EG1$ і $EG2$ можуть приймати і віддавати енергію, а діодний випрямляч з протифазного в схемі РП може тільки приймати енергію зі сторони свого входу. Вхідний струм випрямляча залежить не тільки від його вхідної напруги. Можна припустити, що в схемі на рис.1 напруга $u_b(t)$ є функцією струму $i_b(t)$ і при малих нульових паузах $\delta \rightarrow 0$ для навантаження типу протифазного ЕРС виразиться так

$$u_b(t) = U_q \operatorname{sgn}(i_b(t)) \Big|_{|i_b(t)| > i_0}, \text{ або } u_b(t) = 0 \Big|_{|i_b(t)| < i_0}, \quad (3)$$

де U_q – постійна напруга навантаження, i_0 – відносно малий зворотний струм діодів випрямляча. Але еквівалентний генератор $EG2$ з вхідною напругою випрямляча є умовно незалежним. Тому його напруга відповідатиме процесам схеми реального перетворювача тільки для певної амплітуди і фази коливань. Амплітуда вхідної напруги випрямляча для безпосереднього підключення ємнісного навантаження типу протифазного ЕРС визначається напругою навантаження і є в одному випадку незалежною величиною, а в іншому випадку є залежною від текучого середнього значення випрямленого струму. При безпосередньому включенні до випрямляча навантаження типу протифазного ЕРС нульова пауза напруги буде мінімальною $\delta \rightarrow 0$. В загальному випадку можна вважати, що інтервали провідності діодів VD_1 - VD_4 на рис.1 можуть змінюватися в широких межах $\gamma_2 = t_{\text{имп}}/T = 0..0.5$ і відповідно нульова пауза (або проміжок періоду, коли вхідна напруга випрямляча менша по модулю за вихідну напругу) теж буде змінюватись в межах $\delta_2 = 0.25..0$. Варіативне зміщення переміщує імпульс вхідної напруги випрямляча по всьому періоду коливань і змінюється в межах $v = 0..0.5$.

Таким чином процеси схеми заміщення і схеми реального РП є подібними за процесами одна до одної не завжди, а тільки в певних межах вирішення задачі узгодження, які можуть підтверджуватися експериментальними даними:

- Еквівалентний генератор $EG1$ повинен мати в середньому за період коливань негативний приріст енергії (бути джерелом енергії), а другий еквівалентний генератор $EG2$ – позитивний приріст енергії (бути споживачем енергії).
- Робочі частоти обох еквівалентних генераторів є однаковими.
- Амплітудно-модуючі функції напруг еквівалентних генераторів, що відповідають напрузі живлення та напрузі навантаження РП, можуть змінюватися пропорційно одна одній з динамікою, яка обмежена функцією інерційного процесу $u(t) \leq U_0 + (U_\infty - U_0)(1 - e^{-t/\tau_{\text{max}}})$, де U_0 і U_∞ початкове і кінцеве значення напруги $u(t)$, τ_{max} – максимальна постійна часу РП.

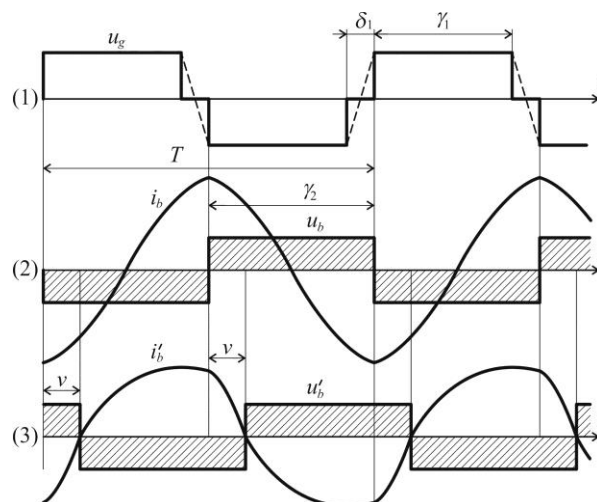


Рисунок 2 – Графіки напруги інвертора u_g (1), вхідного струму i_b і вхідної напруги випрямляча u_b РП при неузгодженій фазі (2) і при узгодженій фазі u'_b і i'_b (3): тут δ_1 , γ_1 та γ_2 – відносні величини паузи, довжини імпульсів інвертора та випрямляча, v – варіативне зміщення

Для виконання умов узгодження в схемі двомостового РП на рис.1 доцільно визначити закономірності між варіативним зміщенням v , стаціонарним вхідним струмом випрямляча $I_{sb}(\sigma, v)$ і значеннями робочої частоти. Нижче наведено припущення, характерні для РП на рис.1 з частотним регулюванням для даного прикладу:

- Напруги живлення інвертора U_s і навантаження U_q є постійними;
- Резонансне коло РК представляє собою послідовну або послідовно-паралельну пасивну схему, наприклад, резонансний LLC-контур;
- РП працює в діапазоні робочих частот від половини до подвійної резонансної частоти контуру $0.5 \cdot \omega_0 \leq \omega_g \leq 2.0 \cdot \omega_0$, оскільки за межами цього діапазону нижче спостерігаються додаткові резонансні піки, а вище характеристика частотного регулювання має недостатню крутизну;
- Вхідний струм випрямляча i_b завжди є неперервний (без нульових пауз) і повинен відповідати напряму передачі енергії до випрямляча, що забезпечується певною різницею між напругами живлення і навантаження;
- Початковим положенням імпульсів вихідної напруги інвертора u_g є фронт позитивного імпульсу, що співпадає з початком чергового періоду коливальних. Початкове положення імпульсів вхідної напруги випрямляча u_b є фронт негативного імпульсу, що співпадає з початком періоду (див. рис.2);
- Ширина імпульсів інвертора може бути в межах $\gamma_1 = 0..0.5$, а ширина імпульсів випрямляча завжди максимальна $\gamma_2 = 0.5$. Зменшення ширини імпульсів випрямляча спостерігається в режимах, близьких до холостого ходу;

На основі рівнянь (1), (2) та вказаних вище припущень була створена лінійна математична модель РП з частотним регулюванням, яка детально викладена в [4, 5]. В результаті було розраховано відносний фазовий зсув між напругами еквівалентних генераторів схеми заміщення РП на рис.3.

Характеристики узгодженого відносного зсуву – графіки 1-7 на рис.3 розраховано чисельними методами [5]. Значенню відносного зсуву $\sigma_v = 0$ відповідає синфазне положення функцій напруг u_g і u_b , а значенню $\sigma_v = 0.5$ – протифазне. Точками на графіках відмічено дані, які знято в експериментах імітаційного моделювання в схожих з розрахунковими умовах. Круговими мітками відмічено дані, що розраховані іншим способом для відносної напруги навантаження $U_q^* = 0.65$. Як видно, експериментальні точки збігаються з розрахованими графіками з погрешністю не гірше 2%, що свідчить про справедливості математичної моделі двомостового РП.

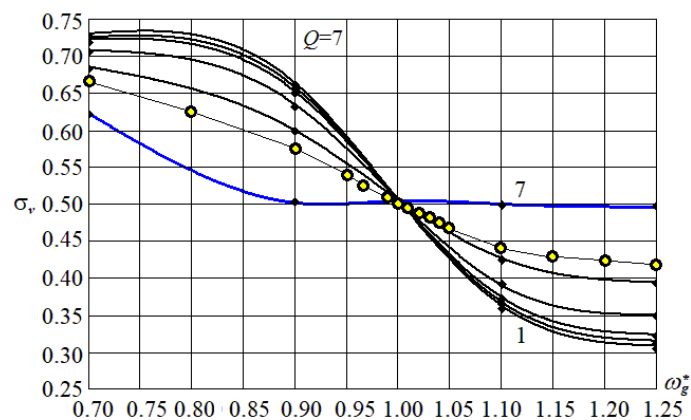


Рисунок 3 – Залежності узгодженого відносного зсуву між напругами обох еквівалентних генераторів для добротності $Q=7$, де графіки 1-7 відповідають вихідній напрузі: $U_q^* = 0.01; 0.05; 0.10; 0.25; 0.50; 0.65; 0.99$

Для перевірки результатів чисельних розрахунків на основі описаної раніше математичної моделі РП і виразів для стаціонарного струму було побудовано імітаційну *Matlab Simulink*-модель двохгенераторного резонансного осцилятора на рис.4,а з фіксацією умов узгодження фази напруги і струму другого еквівалентного генератора.

Налаштування параметрів середовища моделювання наступні: Simulation time 0-0.3, Solver options: Type Variable-step, ode23t (mod. stiff/Trapezoidal), Max step size 1e-6. Інші налаштування залишилися за замовчуванням. Структурну модель резонансного кола на рис.4,б побудовано згідно рівнянь для резонансного осцилятора на основі інтегральних блоків з нульовими початковими умовами: $i = \frac{1}{L} \int_0^t u_L dt$, $u_L = u_{RLC} - iR - u_C$, $u_C = \frac{1}{C} \int_0^t idt$.

В табл.1 наведено графіки стаціонарних процесів двомостового РП, які отримані в результаті розрахунків по розрахунковим формулам наведеним вище (ліва колонка графіків) і в результаті експериментів імітаційного моделювання з моделлю РП для п'яти робочих частот $\omega_g^* = \omega_g / \omega_0$. Тобто наведені в табл.1 результати отримано різними способами.

Розрахунок величин виконувався у відносних одиницях для напруги живлення $U_s=1$ В і напруги навантаження $U_q=0.5$ В. Моделювання виконувалося для $U_s=100$ В і $U_q=50$ В. Параметри контуру наступні: $R=0.837$ Ом, $L=0.0007$ Гн, $C=1e-005$ Ф. Напруга навантаження $U_q=0.9$; добротність $Q=10$; резонансна частота $f_0=1902.27$ Гц; робоча частота встановлювалася $f_g=1521.8$ Гц, 1807.16 Гц, 1902.27 Гц, 1997.38 Гц, 2377.8 Гц; відносна робоча частота відповідно становила $f_g^*=0.80, 0.95, 1.00, 1.05, 1.25$.

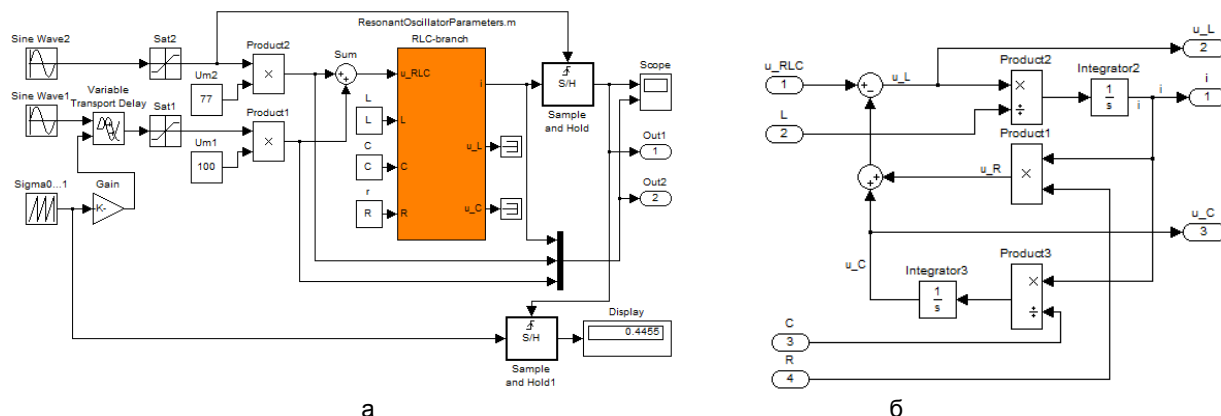
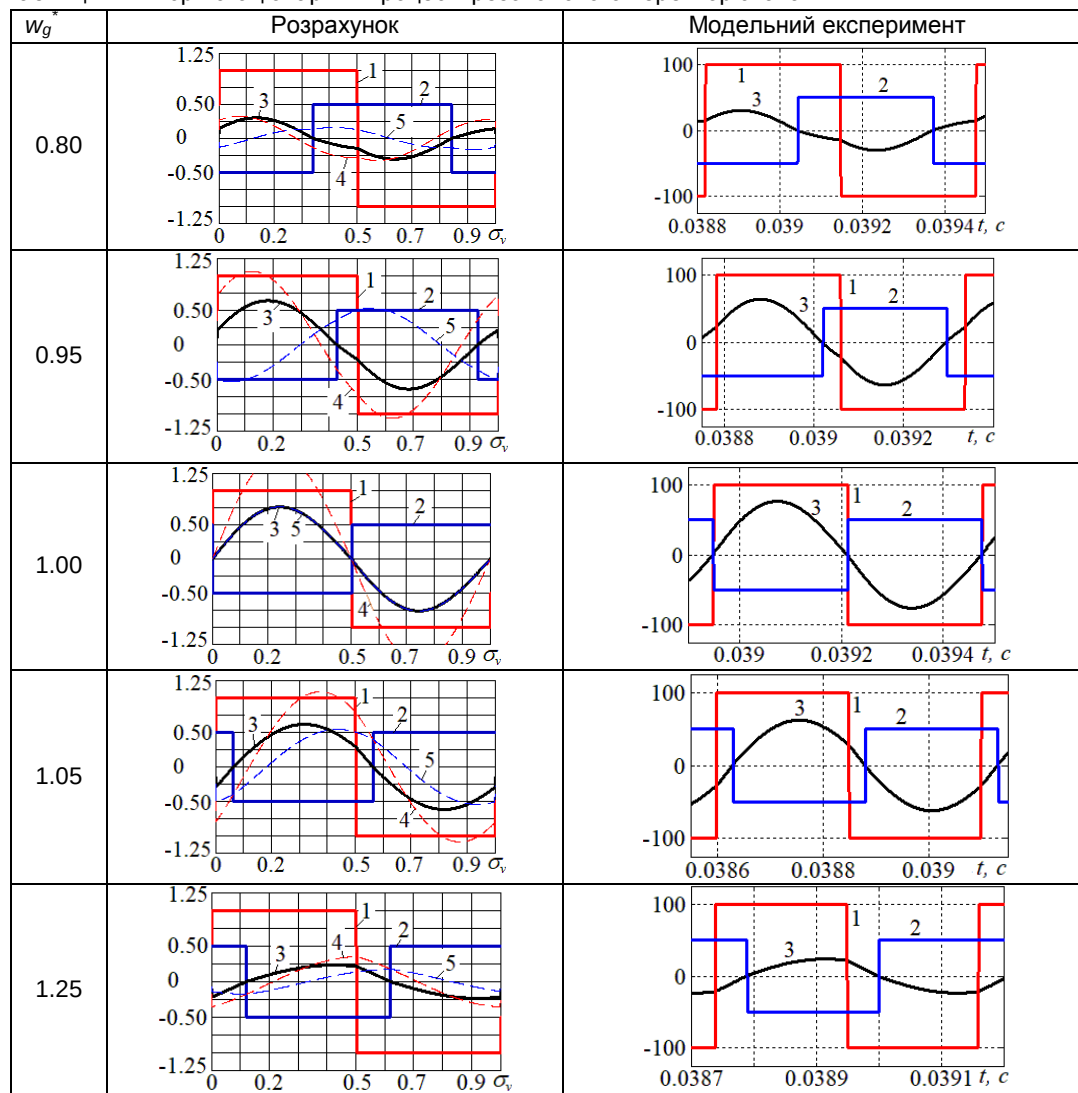


Рисунок 4 – а) схема моделі двохгенераторного резонансного осцилятора з фіксацією умов узгодження фази напруги чи струму другого еквівалентного генератора EG2; б) RLC-branch – модель резонансного кола РК

Таблиця 1. Епюри стаціонарних процесів резонансного перетворювача



Графіки: 1 – напруга інвертора u_g , 2 – напруга випрямляча u_b , 3 – струм контуру i_{sB} , 4 – складова струму інвертора i_{sBG} , 5 – складова струму випрямляча i_{sBB}

Візуальне порівняння теоретичних і експериментальних епюр в лівій і правій колонках табл.1 показує ідентичність графіків процесів, отриманих різними способами. Відносна різниця між приведеними до рівного масштабу результатами розрахунків і результатами моделювання не виходила за межі $\pm 1\%$ і включає в себе також похибки моделювання. Також проводилися співставлення результатів розрахунків і моделювання процесів для інших режимів роботи резонансного перетворювача, які теж показали добру збіжність. Отже наведені результати говорять про адекватність створеної за методом суперпозицій математичної моделі резонансного перетворювача.

Список використаних джерел

1. Павлов, Г., Винниченко, И. і Обрубов, А. 2016. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ С ПОНИЖЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ГАРМОНИК ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ. *ТЕХНІЧНА ЕЛЕКТРОДИНАМІКА*. 5 (Лип 2016), 014. DOI:<https://doi.org/10.15407/techned2016.05.014>.
2. Pavlov, G., Obrubov, A., & Vinnichenko, I. (2022). Optimizing the operation of charging self-generating resonant inverters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(5(115)), 23–34. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252148>
3. Hao Ma, Cai Yang and Yao Zhang, "Analysis and design for single-phase three-level boost PFC converter with quasi-static model," *IECON 2011 - 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Melbourne, VIC, Australia, 2011, pp. 4385-4390, doi: 10.1109/IECON.2011.6120030.
4. G. Pavlov, A. Obrubov and I. Vinnichenko, "Design Procedure of Static Characteristics of the Resonant Converters," *2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Lviv, Ukraine, 2021, pp. 401-406, doi: 10.1109/UKRCON53503.2021.9575698.
5. Обрубов А.В. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук «Методи та моделі дослідження електромагнітних процесів резонансних перетворювачів електроенергії. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024 — 405 с.

УДК 681.391.82

Пелипас В.В., Піляєський О.І., Ермоленко Б.О., Ушкаренко О.О., д.т.н., проф.
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ СМУГОВОГО ФІЛЬТРУ ДЛЯ ОБРОБКИ АУДІОСИГНАЛІВ

Вступ. Під обробкою аудіосигналу розуміється зміна його частотної або фазової характеристики, звуження або розширення динамічного діапазону, застосування амплітудної, частотної або фазової модуляції, видалення шумів, а також створення копій цього сигналу із затримкою у часі [1]. Метою цифрової обробки аудіосигналів може бути вирішення як суто технічних завдань, наприклад узгодження параметрів сигналу з характеристиками електроакустичного тракту, так і художні, що визначаються звукорежисером, зокрема це можуть бути різні звукові ефекти (тремоло, вібрато, хор, луна, реверберація та інші) [2]. Обробка звукових сигналів проводиться переважно у цифровому вигляді за допомогою звукових процесорів. Програмне забезпечення, наприклад NI LabView "EMONA myDSP minisystem for myDAQ" [3] дозволяє здійснювати як завгодно складні перетворення звукових сигналів і створювати найнеймовірніші звукові ефекти. Дуже важливо, що для різних маніпуляцій зі звуком не потрібна постійна зміна обладнання, достатньо змінити програмне забезпечення. Разом з тим для проектуальників систем цифрової обробки сигналів (ЦОС) важливо глибоко розуміти процеси перетворення цифрових даних, що відбуваються в цифрових фільтрах (ЦФ), для їх програмної реалізації. Представлення цифрових фільтрів у вигляді передатних функцій дозволяє дослідити їх властивості, зокрема стійкість (для фільтрів з нескінченною імпульсною характеристикою), отримати амплітудно- та фазочастотні характеристики. Передатна функція ЦФ є результатом процесу проектування, та містить в собі чисельні значення коефіцієнтів, що визначають характеристики фільтра. Різницеве рівняння, що описує цифровий фільтр, спрощує його програмну реалізацію. При цьому, як показав аналіз літератури [4, 5], представлення структур систем ЦОС у вигляді графоаналітичних моделей та їх опис на структурно-функціональному рівні надає більш повну інформацію для розробників та спрощує програмну реалізацію ЦФ.

Метою дослідження є розробка структурно-функціональної моделі цифрового смугового фільтра для обробки сигналів у звуковому діапазоні частот з подальшою його програмною реалізацією та аналізом коректності та ефективності роботи шляхом формування на вході фільтра білого шуму, який характеризується рівномірним спектром у досліджуваному діапазоні частот.

Основна частина. Для побудови смугового пропусканого/загороджувального фільтра використовується ФВЧ 2 порядку. Якщо у схемі на рис. 1, а, вихідний сигнал додається до вхідного – це режекторний фільтр, якщо віднімається – це пропусканний фільтр. Передатна функція фільтра:

$$H(z) = \frac{1}{2}(1 \mp A_1(z)),$$

де $A_1(z)$ – передатна функція ФВЧ 2 порядку.

Але якщо структурну схему ЦФ (рис. 1, а) записати у вигляді графоаналітичного виразу, то може бути сформована структурно-функціональна модель ЦФ, що представлена на рис. 1, б.

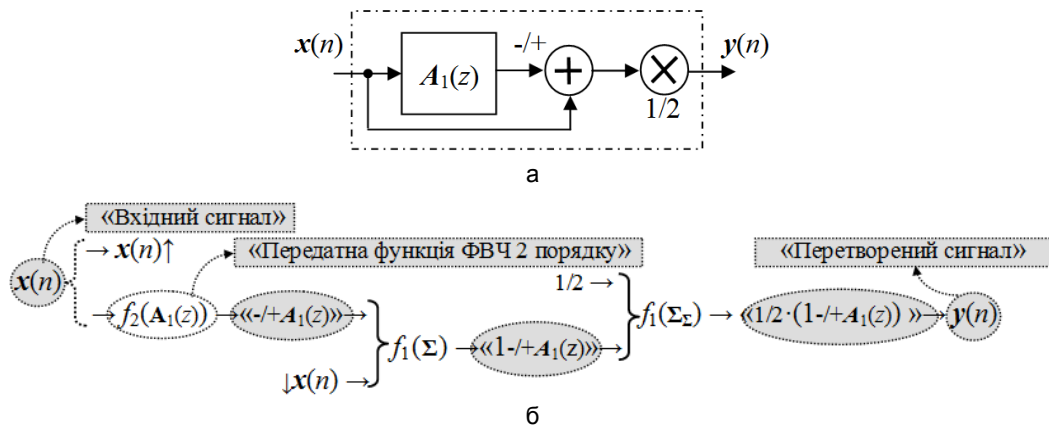


Рисунок 1 – Структурна схема цифрового смугового фільтра (а) та його структурно-функціональна модель (б)

Для монофонічного сигналу з розрядністю 8 біт звукові дані являють собою масив однобайтових значень, кожне з яких є вибіркою сигналу. Для стереофонічного сигналу з розрядністю 8 біт звукові дані мають формат масиву двобайтових слів, причому молодший байт слова відповідає лівому каналу, а старший – правому. Формат звукових даних із розрядністю 16 біт виглядає аналогічно. Діапазон зміни значень вибірок сигналу визначається їх розрядністю. Для 8-бітових даних він становить від 0 до 255 (0xff), причому відсутність сигналу (повної тиші) відповідає значення 128 (0x80). Для 16-бітових даних діапазон змін становить від -32768 (0x8000) до 32767, (0x7fff), відсутності сигналу відповідає значення 0. Це потрібно враховувати при виборі типів даних змінних, що будуть використовуватися при програмній реалізації ЦФ для уникнення явища арифметичного переповнення, що неодмінно призведе до спотворення сигналу. Розглянутий цифровий фільтр може бути також реалізований на базі програмованих логічних інтегральних схем, які широко застосовуються, в тому числі, в системах цифрової обробки сигналів. Приклади схемотехнічної реалізації цифрового фільтра та з використанням мови опису апаратури наведені в [6, 7].

Для демонстрації роботи фільтра у програмі реалізований генератор, який формує білий шум із рівномірним спектром у всьому діапазоні частот. Після обробки такого сигналу фільтром вихідний сигнал записується у WAV-файл. Після запису результуючого сигналу в файл і виконання спектрального аналізу у програмі SpectraLab, були отримані результати представлені на рис. 2.

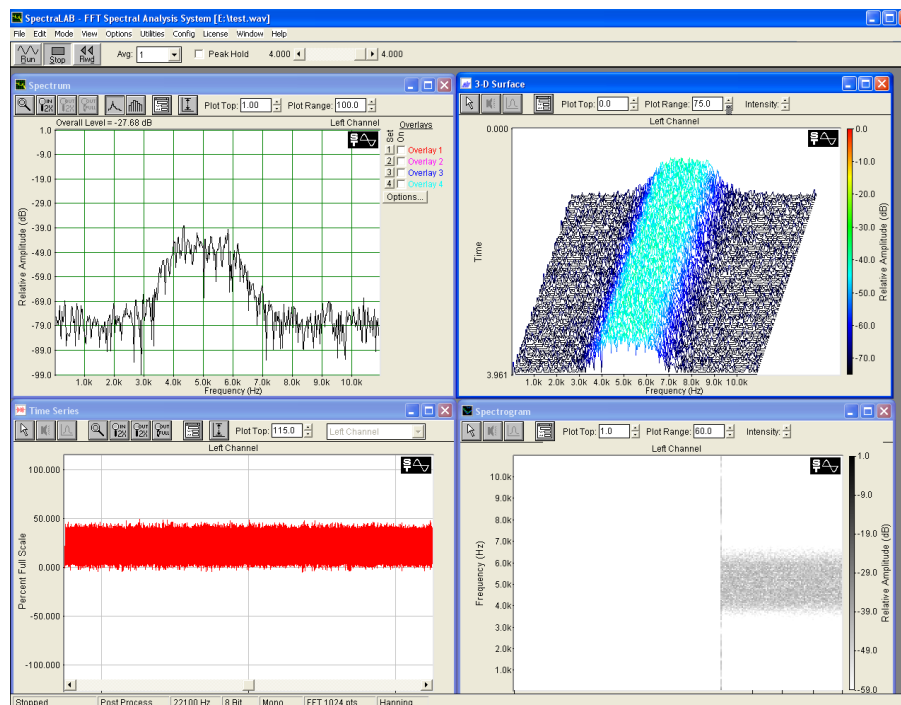


Рисунок 2 – Результат цифрової обробки білого шуму спроектованим смуговим фільтром

Висновки. В результаті проведеного дослідження було розроблено структурно-функціональну модель цифрового смугового фільтра. Шляхом програмної реалізації моделі спроектованого цифрового фільтра було досліджено його роботу. На вхід цифрового фільтра подавався тестовий сигнал у вигляді білого шуму. З

використанням інструментальних засобів спектрального аналізу сигналів досліджено роботу фільтру як у часовій, так і у частотній області. Аналіз отриманих результатів показав, що використання структурно-функціональних моделей ЦФ надає розробникам більш повну інформацію як про структуру ЦФ, так і про послідовність дій та виконуваних арифметичних операцій, що спрощує їх програмну реалізацію та дозволяє уникнути помилок.

Список використаних джерел

1. Rasha Awad Abtan. Removing the Noise from the audio Signal using a Technique Median Filter / Awad Abtan Rasha // Journal of the College of Basic Education. 2022. Vol.22(SI). P. 87-99.
2. Jovanovic-Dolecek Gordana. Digital Filters for Digital Audio Effects / Gordana Jovanovic-Dolecek, A. Fernandez-Vazquez // Advances in Audio and Speech Signal Processing: Tech. and App. 2007. P. 22-55.
3. Ruthber Rodriguez. Audio signals processing with digital filters implementation using MyDSP / Rodriguez Ruthber, Chavarro Chavarro Adrian, Cardozo Tovar, Caicedo Adriana, Cabrera Carlos // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12. P. 4848-4853.
4. Mahmoud M.S. Al-suod. Development of Graphical Analytical Models for Digital Signal Processing System Structures / Al-suod Mahmoud M.S, Ushkarenko O., Abdel Hamid Soliman, Mahmoud Zeidan, Abdullah M. Eial Awwad, Alaa M. Al-Quteimat // Jordan Journal of Electrical Engineering. 2020. Vol. 6, No. 2. P. 140-153.
5. Редька І.В. Принципи опису систем цифрової обробки сигналів на структурно-функціональному рівні / І.В. Редька, О.І. Трешнюк, О.О. Ушкаренко // Автоматика та електротехніка: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Миколаїв: НУК, 2023. С. 57-59.
6. Рябенський В.М. Verilog. Практика проектування цифрових пристроїв на ПЛІС : навч. посіб. / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко. Миколаїв : Вид-во «Іліон», 2007. 324 с.
7. Рябенський В.М. MAX+plus II. Основи проектування цифрових пристроїв на ПЛІС / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко. К.: «Корнійчук», 2004. 253 с.

УДК 681.5

Білюк І.С., к.т.н., доц., Савченко О.В., Льовкін В. С., Андрєєв П. С.

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

ІНДУКЦІЙНИЙ НАГРІВАЧ ДЛЯ ЛАБОРАТОРІЙ НА БАЗІ НЕПІВМОСТОВОГО ІНВЕРТОРА

Індукційне нагрівання - це нагрівання матеріалів електричними струмами, які індукуються змінним магнітним полем. Отже - це нагрівання виробів із провідних матеріалів (провідників) магнітним полем індукторів (джерел змінного магнітного поля). Індукційне нагрівання проводиться наступним чином. Електропровідна (металева, графітова) заготовка поміщається в так званий індуктор, що являє собою один або кілька витків дроту (найчастіше мідного). В індукторі за допомогою спеціального генератора наводяться потужні струми різної частоти (від десятка Гц до кількох МГц), у результаті навколо індуктора виникає електромагнітне поле. Електромагнітне поле наводить у заготівлі вихрові струми. Вихрові струми розігрівають заготовку під впливом джоулевого тепла [1].

Система «індуктор-заготівля» є безсерцевим трансформатором, в якому індуктор є первинною обмоткою. Заготівля є вторинною обмоткою, замкненою коротко. Магнітний потік між обмотками замикається повітрям.

На високій частоті вихрові струми витісняються утвореним ними магнітним полем в тонкі поверхневі шари заготовки Δ (Поверхневий-ефект) [2], внаслідок чого їх щільність різко зростає, і заготовка розігрівається. Нижчезташовані шари металу прогріваються за рахунок теплопровідності. Важливим є не струм, а велика щільність струму. У скін-шарі Δ щільність струму зменшується в e раз щодо щільності струму на поверхні заготівлі, при цьому в скін-шарі виділяється 86,4 % тепла (від загального тепловиділення. Глибина скін-шару залежить від частоти випромінювання: чим вища частота, тим тонше Скін-шар. Також вона залежить від відносної магнітної проникності μ матеріалу заготовки.

Піддавати індукційному нагріванню можна будь-які струмопровідні матеріали. Завдяки цьому стало можливим виконувати термообробку будь-яких деталей з[3]:

- латуні;
- міді;
- сталі;
- кольорових металів;
- чорних металів;
- електропровідної кераміки;
- інших складів, сплавів.

Для реалізації поставленої мети використаємо напівмостовий драйвер IR2153[4, 5]. IR2153 є вдосконаленою версією популярні мікросхеми драйверів IR2155 та IR2151 і включає в себе драйвер напівмостових ключів високої

напруги з фронтальним генератором, подібним до стандартного CMOS на базі таймера NE555. IR2153 забезпечує більшу функціональність і простіший у використанні, ніж попередні IC. Крім того, ширина імпульсу вихідного сигналу драйвера затвора однакова, коли зростає блокування низької напруги досягнуто порогового значення для VCC, що призводить до більш стабільного профілю частоти проти часу при запуску.

В якості силових ключів будемо використовувати MOSFET транзистори, як найефективніші. Що стосується біполярних транзисторів, то їхнім істотним недоліком є підвищений залишкову напругу на колекторі в режимі насичення, велика потужність управління по базовій ланцюга. Все це призводить до значного зниження ККД ключів.

В схемі ми будемо використовувати силовий МОП-транзистори третього покоління IFRP460 від виробника International Rectifier[6], який забезпечує найкращі поєднання швидкого перемикавання, надійності конструкції та низький рівень опору. Корпус TO-247 кращий для комерційного і промислового використання, де використання приладів в корпусі TO-220 не бажано або неможливо. Випускаються у ізольованому пластмасовому корпусі з жорсткими висновками. Діапазон робочих температур від -55 до +150 ° C.

Блокувальний конденсатор C6 запобігає проходженню надмірного струму через робочу котушку і запобігає пошкодженню МОП-транзисторів, в той час як індуктор L1 стежить за тим, щоб у лінію не потрапляли гармоніки, що заважають, які можуть призвести до зниження ефективності роботи системи.

Схема індукційного нагрівача наведена на рисунку 1.

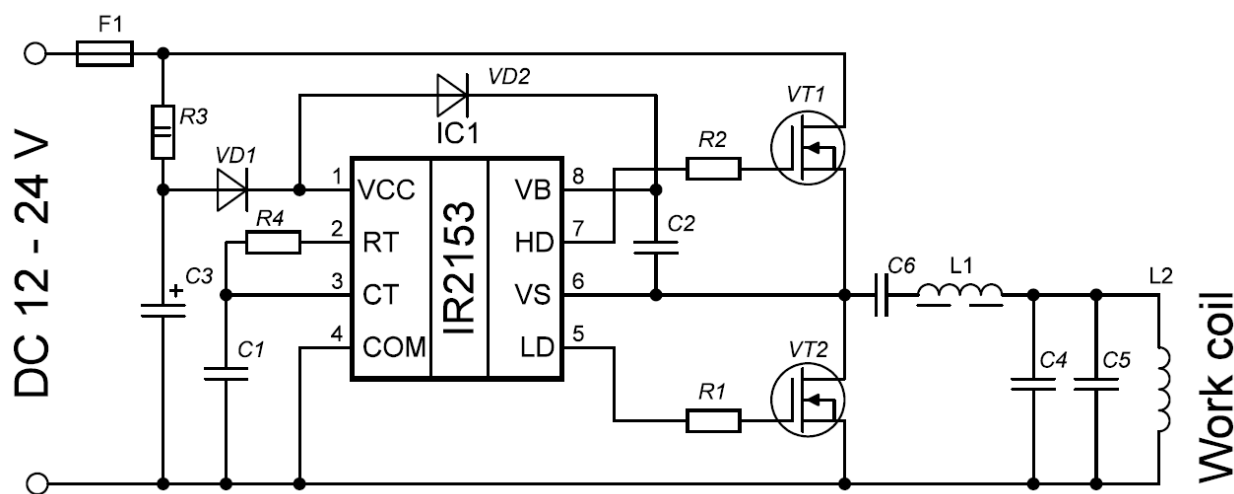


Рисунок 1 – Схема індукційного нагрівача

Висновок. В роботі було спроектовано схему індукційного нагрівача від живлячого джерела постійного струму з напругою від 12 до 24 В. Нагрівач завдяки MOSFET транзисторам має вихідну потужність 500 Вт, а блокувальний конденсатор запобігає проходженню надмірного струму через робочу котушку і запобігає пошкодженню МОП-транзисторів.

Список використаних джерел

1. Закон Джоуля — Ленца. Вікіпедія // Режим доступу: - https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D0%94%D0%B6%D0%BE%D1%83%D0%BB%D1%8F_%E2%80%94%D0%9B%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B0
2. Скін-ефект. Вікіпедія // Режим доступу: - <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BA%D1%96%D0%BD-%D0%B5%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82>
3. Simple Induction Heater Circuits – Hot Plate Cookers // Режим доступу: - <https://www.homemade-circuits.com/simple-induction-heater-circuit-hot/>
4. SELF-OSCILLATING HALF-BRIDGE DRIVER IR2153(D)(S) &(PbF) // International Rectifier. 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, 2020. P. 9.
5. Білюк, І., Савченко, О., Сургаєв, А., Чубчик, М., & Чубчик, С. (2023). Проектування імпульсного напівмостового блоку живлення. *Scientific Collection «InterConf»*, (153), 353-356.
6. Power MOSFET IFRP460 // International Rectifier. 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, 2018. P. 6

УДК 621.9

Соловйов Д.Г., Стужук І.І.

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

ПРОЄКТУВАННЯ ПОМНОЖУВАЧА НАПРУГИ

Помножувач напруги (або каскадний генератор) – пристрій, що перетворює низьку змінну (пульсуючу) напругу у високу постійну. У кожному окремому каскаді змінна напруга випрямляється, а випрямлені напруги включаються послідовно і таким чином сумуються (рисунк 1). Зв'язок каскадів з джерелом живлення здійснюється через ємності або за допомогою взаємної індукції. Живлення каскадів може бути як послідовним, так і паралельним. Амплітуда напруги на виході помножувача напруги теоретично в ціле число разів вище, ніж на вході. У реальних схемах будь-яке навантаження буде зменшувати отриману напругу. Навантажувальна здатність помножувача пропорційна частоті, величині ємностей конденсаторів, що входять до його складу і обернено пропорційна числу ланок [1, 2].

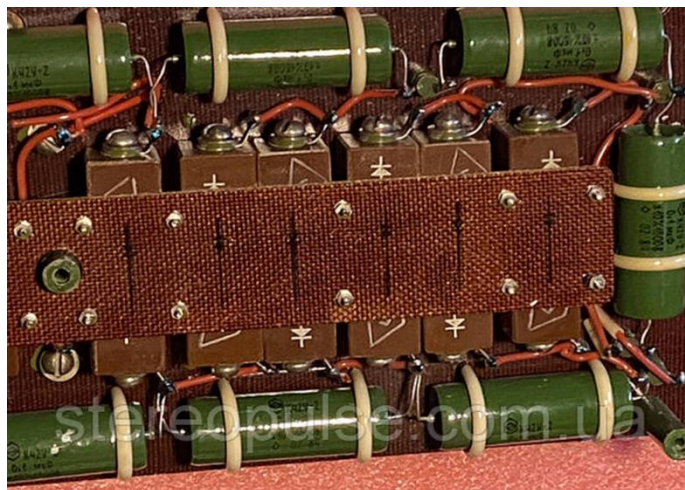


Рисунок 1 – Помножувач напруги

Метою проєкту є розглянути теоретичний матеріал по помножувачам напруги та інтегральним схемам NE555. Вибрати принципіальну та PCB (або печатну) схеми. Оцінити виготовлену схему помножувача напруги.

Аналіз існуючих рішень. Серед ємнісних каскадних генераторів з послідовним живленням найбільш поширені несиметричний генератор Кокрофта-Волтона і симетричний генератор Галерна. Також поширені каскадні генератори з паралельним живленням з ємнісний і індуктивного зв'язком. Традиційна область застосування електрофізичних апаратура, і в першу чергу високовольтні прискорювачі великої потужності [3].

Для виготовлення було обрано схему помножувача напруги з інтегральною схемою NE555 (рисунк 2). Схema була обрана тому що вона проста в виготовленні, не складна в розумінні, має високу надійність та легка в використанні. Також елементи цієї схеми також прості.

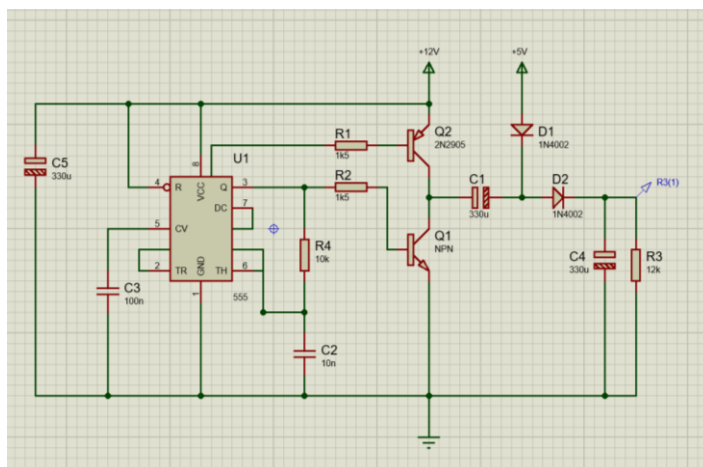


Рисунок 2 – Принципова схема помножувача напруги створена в Proteus

Практична частина. NE555 – інтегральна схема, універсальний таймер, пристрій для формування (генерації) одиночних і повторюваних імпульсів зі стабільними тимчасовими характеристиками. Вперше випущений 1971 року компанією під позначенням NE555. Функціональні аналоги оригінального NE555 випускаються у безлічі біполярних та КМОП-варіантів. Здвоєна версія 555 випускається під позначенням 556,

чотирирівня – під позначенням 558. Є асинхронним RS-тригером зі специфічними порогоми входів, точно заданими аналоговими компараторами і вбудованим дільником напруги. Застосовується для побудови різних генераторів, модуляторів, реле часу, порогових пристроїв та інших вузлів електронної апаратури. Як приклади застосування мікросхеми-таймера можна вказати функції відновлення цифрового сигналу, спотвореного в лініях зв'язку, фільтри брязкоту, двопозиційні регулятори в системах автоматичного регулювання, імпульсні перетворювачі напруги, пристрої широтно-імпульсного регулювання, таймери та ін.

В теорії воно може підходити для акумуляторів постійної напруги якщо його підключають до пристрою зі змінною напругою або коли вихідна напруга недостатня для ефективної роботи. Основна мета цієї схеми в тому щоб перетворювати змінну напругу в постійну, для цього використовується діоди (D1 та D2) щоб її змінити. Другою метою використання цієї схеми це збільшення вихідної напруги.

Технічні характеристики

Мікросхема — DIL08 (555)

Резистор METALFLM1K5 — 1к5 “2W” (R1, R2)

Резистор METALFILM12K - 12к “2W” (R3)

Резистор METALFLM10K— 10к “2W” (R4)

Транзистор — PNP, NPN (Q1, Q2)

Конденсатор CERAMIC — 10 n “Інформація про напругу відсутня” (C2)

Конденсатор DISC – 100 n “16v” (C3)

Конденсатор HITEMP — 330u “16v” (C1, C3, C5)

Діод DIODESSINC — 1N4002 Si; 100.0v 1.00A 3.00us (D1, D2).

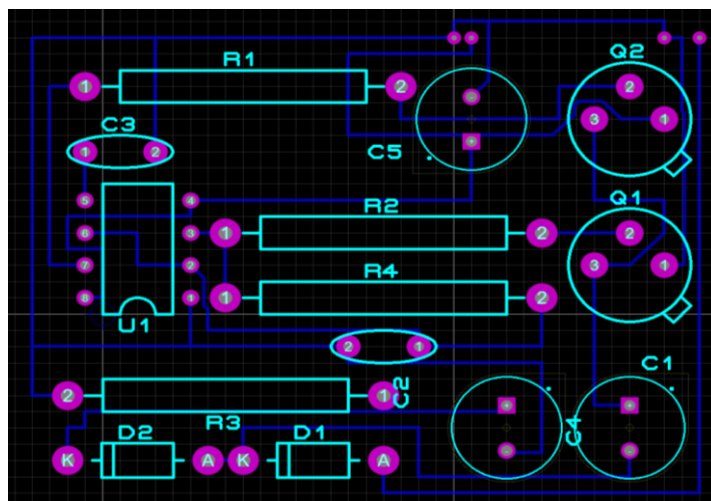


Рисунок 3 – Монтажна схема сгенерована в Proteus

Для виготовлення плати було обрано Proteus Design Suite. Це запатентований набір програмних засобів використовується в основному для автоматизації електронного проектування. Програмне забезпечення використовується в основному інженерами та техніками з електронного дизайну для створення схем і електронних відбитків для виготовлення друкованих плат. Labcenter Electronics Ltd.

Proteus – це потужне та універсальне програмне забезпечення, яке широко використовується в галузі електроніки проектування, моделювання та тестування електронних схем.

Висновки. Завдяки цієї схеми можна підвищити ефективність електроприборів, зробити так щоб акумулятор, якому не дістає потужності, отримав додаткову. Він також може бути потрібен щоб перетворити змінну напругу в постійну. По суті це підвищує варіативність акумуляторів та інших електроприборів, тому що перетворення змінної напруги в постійну дає можливість використовувати ці прибори там де із-за не тієї напруги чи не достатньої потужності було неможливим, чи малоефективним.

Список використаних джерел

1. K. Harada, T. Nabeshima, “Applications of magnetic amplifiers to high-frequency dc-to-dc converters, Proc. IEEE, vol. 76, no. 4, April 1988, pp. 355-361.
2. V. Yaskiv. Using of High-Frequency Magnetic Amplifier in Switch Mode DC Power Supplies / V. Yaskiv // Proceedings of the 35th Annual IEEE Power Electronic Specialists Conference (PESC'04), Aachen, 2004, — p. 1658–1662.
3. V. Yaskiv. Design Methods of Switch Mode Power Supplies / V. Yaskiv // Tutorial 10 on 26 –th International Energy Conference (INTELEC), Chicago, USA, 2004, — 39 p.
4. Матвієнко М.П., Розен В.П. Комп'ютерна схемотехніка. Ліра-К. 2014р.
5. Віталій Бойко, Андрій Гуржій, Валерій Жуйков, Анатолій Зорі, Віктор Співак, Тетяна Терещенко, Юлія Петергеря, Юрій Якименко. Мікропроцесори та Мікроконтролери. 2004р.
6. Микола Корчемний, Петро Клендій, Микола Потапенко Теоретичні основи автоматики. Навчальна книга — Богдан. 2012 р.

СЕКЦІЯ 3. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ КОМПЛЕКСИ, ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ І АПАРАТИ

УДК 621.314.621

Сакутін Б.А., Овсянников В.М., к.т.н., доц.

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

ІННОВАЦІЙНІ ЗАРЯДНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ І ГІБРИДНИХ СУДЕН: БЕРЕГОВА СТАНЦІЯ ZPP700/ZPP850 TOWER ТА БОРТОВА СТАНЦІЯ SWC200

Вступ. З усвідомленням масштабів забруднення навколишнього середовища, спричиненого викидами парникових газів у морській галузі, судноплавство стикається з необхідністю переходу на екологічно чисті технології. За даними Міжнародної морської організації, на морський транспорт припадає майже 2,5% світових викидів CO₂, що підкреслює гостру потребу зменшення вуглецевого сліду. Як альтернатива традиційним паливним технологіям, електричні судна привертають все більше уваги завдяки нульовим викидам і меншому впливу на довкілля. Останніми роками все більш актуальним стає перехід до екологічно чистих технологій у судноплаванні. Ринок електричних суден, за даними Global Market Insights Inc., очікує рекордного зростання і може досягти \$7 млрд до 2027 року [1].

Сьогодні понад 200 компаній у галузі зобов'язалися розробити та впровадити судна з нульовими викидами до 2030 року, а 19 країн підписали декларацію, що передбачає створення шести морських коридорів з нульовими викидами. Таким чином, перехід до "чистого" морського транспорту стає стратегічним завданням для найбільших компаній та держав [1, 2]. Запровадження морських маршрутів із нульовими викидами, у міру розширення інфраструктури та технологій, є важливим кроком на шляху до досягнення глобальних цілей зі зниження вуглецевого сліду.

Однак впровадження електричних суден вимагає розвитку нових систем берегового електропостачання і зарядки, які могли б забезпечити їх безперебійну роботу і знизити залежність від викопних джерел енергії [3].

Метою роботи є огляд існуючих автоматизованих систем зарядки електричних суден, берегові та бортові станції.

Основна частина. Розглянемо інноваційні рішення берегових станцій ZPP700/ ZPP850 Tower та станції SWC200 (Swing Connect System) для зарядження різних типів гібридних суден.

Компанія Zinus AS спеціалізується на постачанні та виробництві систем для берегового енергозабезпечення та зарядки суден, обслуговуючи як прибережний, так і офшорний ринки [1].

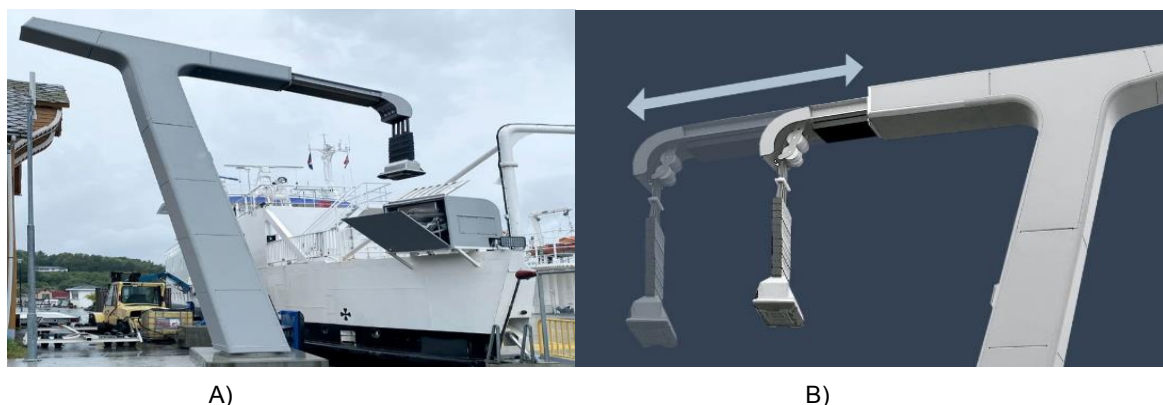


Рисунок 1 – Берегова станція ZPP850 Tower та бортова станція SWC200 (А); Регулювання берегової станції ZPP700/ ZPP850 Tower в залежності від судна (В).

Інноваційні рішення Zinus для зарядки та берегового енергоживлення швидко завоювали популярність як у Норвегії, так і по всьому світу завдяки своїй гнучкості, витонченому дизайну, що підходить для громадських місць, і мінімальному втручанню в інфраструктуру під час установки.

Zinus AS має сильних власників — компанії LOS Group, DSD і BKK Spring, які інвестують у компанії, що прагнуть до сталого розвитку. Як провідний постачальник рішень для енергоживлення портів і суден, Zinus AS встановила новий стандарт технологій берегового живлення завдяки запатентованим дизайну та функціональності, що стало великою перевагою для навколишнього середовища та користувачів у всьому світі.

Автономна телескопічна зарядна система від Zinus — це сучасне рішення для зарядки електричних і гібридних суден, призначене для екологічно чистого і гнучкого підключення до енергомережі в портах. Система використовує телескопічний зарядний важіль і високонадійні кабелі, що дає змогу пристрою швидко і автоматично з'єднуватися з судном, навіть при коливаннях хвиль або сильному вітрі. Таке рішення скорочує час на зарядку —

з'єднання займає лише близько 20 секунд, що особливо зручно для маршрутних або вантажних суден, які мають обмежений час на зарядку.

Головною особливістю системи є її здатність пристосовуватися до різних типів суден та умов. Телескопічний важіль може обертатися: задля ZPP550 / ZPP700 поворот на 90° ($\pm 45^\circ$ відносно причалу), задля ZPP850 поворот на 180° ($\pm 90^\circ$ відносно причалу), а сама вежа має гнучку конструкцію, що забезпечує автоматичне регулювання під час припливів або відпливів і компенсацію дрейфу судна до 2 метрів. Система також виготовлена з матеріалів, стійких до солоної води та несприятливих погодних умов, що збільшує її довговічність і робить її економічно вигідною інвестицією для портів.

Крім стандартної версії від Zinus, доступна також напівавтоматична модель, яку можна налаштувати відповідно до індивідуальних вимог замовників. Окрім цього, кожна зарядна установка (рис.3) має компактні розміри (основа — лише $0,8 \times 0,8$ м). Окрема увага приділена дизайну: система гармонійно вписується в загальний вигляд причалів і забезпечена додатковим освітленням для зручності використання вночі.

Система забезпечує приблизно 10 000 циклів зарядки до необхідності обслуговування і може виконати до 50 000 циклів до потреби капітального ремонту. Електричні характеристики системи також вражають: підтримується як постійний, так і змінний струм до 1500 (DC) і 690 (AC) з максимальним струмом 4400 А, що робить її універсальною для зарядки різних типів суден - від малих суден до великих пасажирських і вантажних поромів. Автоматичний контроль за натягом кабелю забезпечує безпеку експлуатації, а вбудована система дистанційного моніторингу дозволяє відстежувати стан системи та планувати обслуговування. Рис. 2 ілюструє загальні конструктивні розміри станції.

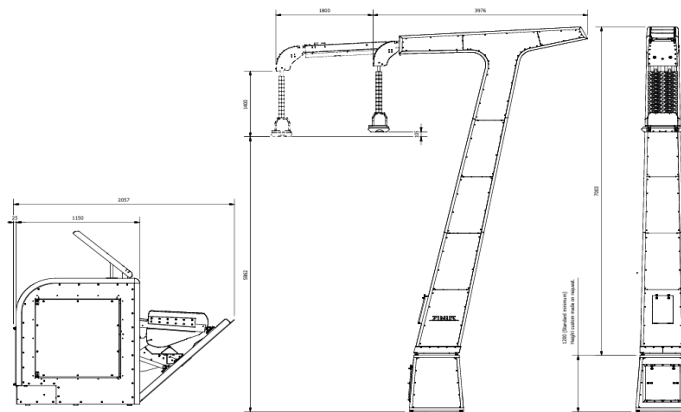


Рисунок 2 – Основні розмірності ZPP850 Tower та бортової станції SWC200

Стислі енергетичні і технічні характеристики мають такі показники:

- висота: ZPP550 = 5,5 м / ZPP700 = 7,0 м / ZPP850 = 8,5 м;
- вид напруги (Змінний / Постійний струм);
- величина <1500 В / DC (Основне вхідне живлення);
- величина 400 В / AC – 50 Гц (Основне вхідне живлення);
- величина 440 В / AC – 60 Гц (Основне вхідне живлення);
- величина 690 В / AC – 60 Гц (Основне вхідне живлення).

Електричні параметри керування:

- напруга керування 3x 400 В / AC + N 16 А або альтернативно 3x 230 В / AC 16 А;
- струм керування при 1500 В / DC складає 2200 А (один комплект кабелів), або при <1500 В / DC, 4400 А (два комплекти кабелів).

На сьогоднішній день компанія Zinus підписала контракт з голландською суднобудівною компанією Damen Shipyards, який передбачає поставку системи управління кабелем (CMS) ZPP850 для баштового рішення для причалу разом із системою поворотного з'єднання SWC200 як бортових пристроїв [6].

Система буде встановлена на чотирьох нових поромках класу Island, які Damen будує для BC Ferries, найбільшого поромного оператора Канади. Ці судна обслуговуватимуть маршрути між Нанаймо та островом Габріола, а також річкою Кемпбелл та островом Куадра, щоб підвищити ефективність і стійкість цих ключових сполучень. За словами компанії, системи Zinus забезпечать ефективну та надійну зарядку поромів при роботі на електроенергії. Планується, що графік поставки системи Zinus розпочнеться в другій половині 2025 року та буде завершено в першій половині 2026 року.

Працівники Marine Design Engineering Mykolayiv (MDEM) активно працюють над імплементацією в 3D модель системи зарядки на цих суднах, зберігаючи при цьому існуючий концепт судна. MDEM є багатофункціональною інженерною компанією, яка спеціалізується на базовому та детальному проектуванні для суднобудівних проєктів, а також на додаткових цифрових послугах для Damen Shipyards Group.

Висновки

1. Технологія Zinus забезпечує швидку й автоматизовану зарядку електричних суден на причалі, що ідеально підходить для суден, які здійснюють короткі зупинки. Це рішення дозволяє швидко поповнити заряд акумуляторів під час короткочасних швартувань, передаючи потужність до 2 мегаватів, чого достатньо для швидкої зарядки суден.
2. Роботизовані коннектори Zinus автоматично підключаються до судна, що знижує експлуатаційні витрати та скорочує час простою. Це дає можливість екіпажу більше зосередитися на обслуговуванні пасажирів, не відволікаючись на технічні питання.
3. Інтелектуальна система енергоменеджменту Zinus 200 допомагає уникнути пікових навантажень на мережу, оптимізуючи споживання електроенергії. Така оптимізація вигідна як судовласникам, так і електромережам, знижуючи їхнє навантаження і підвищуючи ефективність використання ресурсів.

Список використаних джерел

1. <https://zinuspower.com/>
2. <https://www.offshore-energy.biz/zinus-to-provide-charging-solutions-for-bc-ferries-hybrid-electric-ships/>
3. <https://maritime-executive.com/corporate/zinus-autonomous-solutions-for-seaspan/>
4. <https://zinuspower.com/product/charging-telescopic-autonomous/>
5. <https://www.electrichybridmarinetechology.com/news/ferries-and-cruises/zinus-provides-shore-power-for-zero-emission-ro-pax-ferry.html/>
6. <https://www.rivieramm.com/news-content-hub/news-content-hub/charging-solution-selected-for-bc-ferries-island-class-quad-82521/>

УДК 681.51:004.89

Грудініна Г.С., к.т.н., Зінченко І.І., Морозов Р.Р.

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

СУЧАСНІ ПРИНЦИПИ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Актуальність. Сучасні судові електричні системи є ключовим елементом судового обладнання, від яких залежить надійність, безпека та енергоефективність судна. З огляду на зростаючі вимоги до екологічності та економічності експлуатації флоту, підвищення ефективності роботи цих систем стає пріоритетним завданням. Оптимізація енергоспоживання, удосконалення систем управління та впровадження сучасних технологій дозволяють досягти значного зниження витрат і підвищити загальну продуктивність судових електросистем.

Метою роботи є обґрунтування необхідності застосування інноваційних технологій при генерації електроенергії на судні.

На сьогоднішній день на ринку існує кілька відомих виробників дизельних та гібридних судових генераторів, які зарекомендували себе завдяки надійності та інноваціям.

Дизельні генератори. Дизельні генератори від компанії CATERPILLAR – широкий спектр дизельних генераторів для морського застосування, відомі своїми надійними і продуктивними двигунами.

Час безвідмовної роботи двигуна має вирішальне значення як для команди так і для клієнтів та прибутку. Найбільша у галузі лінійка двигунів Caterpillar Marine забезпечує необхідну надійність і гарантію. Компанія представляє вибір із широкого асортименту комерційних тягових двигунів, тягових двигунів з високою продуктивністю, судових генераторів та допоміжних двигунів [1].

Судові генераторні установки CAT (рис. 1.) призначені для надійної та економічної експлуатації в екстремальних умовах.



Рисунок 1 – Судова генераторна установка Caterpillar Marine

У дизельних генераторах поєднуються перевірена конструкція та способи виготовлення із найсучаснішими технологіями, такими як удосконалене управління, для забезпечення більшої потужності та підвищеної ефективності при поглибленому контролі.

- Сучасні генераторні установки даної компанії відповідають усім стандартам на викиди забруднюючих речовин [2-4]:
- Стандарти на викиди забруднюючих речовин CCNR Stage II ЕС для морських суден.
- Відповідність вимогам стандартів на викиди забруднюючих речовин Stage IIIA ЕС для суден.
- Стандарти на викиди забруднюючих речовин IMO Tier II.
- Стандарти на викиди забруднюючих речовин IMO Tier III.
- Стандарти з викидів для комерційних суден EPA Tier 3, США.
- Стандарт Tier 4 Final Агентства з охорони навколишнього

середовища США на викиди забруднюючих речовин для позашляхових автомобілів.

Стандарти на викиди забруднюючих речовин для комерційних суден EPA Tier 4 Interim, США, [5, 6].

Світова компанія MAN Energy Solutions спеціалізується на потужних дизельних генераторах для великих суден і пропонує рішення для енергоефективності, рис. 2.

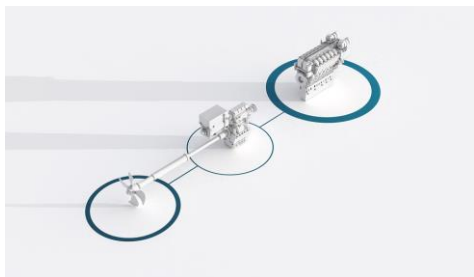


Рисунок 2 – MAN Energy Solutions у постійному прагненні до енергоефективності

Десятиліттями MAN впроваджував інноваційні морські технології в таких сферах, як подвійне постачання палива та газу, рушійна установка, доочищення вихлопних газів та гібридні рішення для батарей. Спираючись на наш унікальний портфель технологій і послуг, ми пропонуємо інтегровані системні рішення, які підвищують ефективність, стійкість і прибутковість морської промисловості [7].

Компанія застосовує комплексний підхід до судна, вивчаючи робочий профіль для оптимізації всіх відповідних компонентів, від двигуна до керма, включаючи всі налаштування швидкості, маневрування та керування навантаженням. Розробляє найефективніші пропульсивні системи для конкретного робочого профілю. Наприклад, система керування силовою установкою MAN Alphasonic 3000 оптимізує роботу гвинта для кращої маневреності та

загальної ефективності.

Переваги полягають у тому, що всі компоненти ідеально підходять, і пристрій працює лише з однією системою, яка має один набір елементів керування.

Компанія Wärtsilä пропонує інноваційні дизельні генератори, які відзначаються високою ефективністю та низьким рівнем викидів.

Генераторні установки Wärtsilä – розроблені для оптимізації продуктивності, рис. 3. Широкий асортимент генераторних установок, що складається з генератора та двигуна, встановлених на загальній базовій рамі, доступний як для виробництва електроенергії, для обслуговування, так і для дизель-електричної тяги.

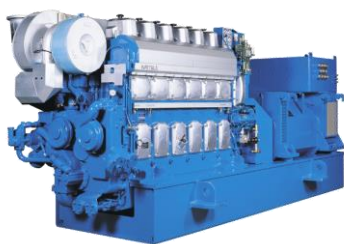


Рисунок 3 – Генераторна установка від компанії Wärtsilä

Усі генераторні установки розроблені для роботи на стандартних суднових мазутах. Генераторні установки кріпляться пружно, і можна вибрати напругу генератора. Більші дизельні генератори поставляються для окремого монтажу дизельного двигуна і генератора [8].

Компанія Rolls-Royce: виробляє потужні морські дизельні генератори, відомі своєю надійністю та довговічністю.

Гібридні генератори. Основні принципи роботи:

- поєднання джерел енергії – установки можуть використовувати дизельні/газові генератори для виробництва електроенергії, яка потім зберігається в акумуляторах або безпосередньо використовується для приводу електродвигунів;

- енергія може також надходити з альтернативних джерел, таких як сонячні панелі чи вітряні турбіни.

Режими роботи:

- електричний режим – судно працює на електродвигунах, живлення яких забезпечують акумулятори або паливні елементи (доцільно на малих швидкостях або в екологічно чутливих районах, наприклад, портах чи природних заповідниках);

- дизельний режим – для великих швидкостей чи важких умов експлуатації, основним джерелом енергії стають дизельні двигуни;

- гібридний режим – одночасно працюють і дизельні двигуни, і електрична система (забезпечує гнучкість і максимальну ефективність);

- рекуперація енергії – деякі системи включають механізми рекуперації (наприклад, використання енергії гальмування), яка потім зберігається в акумуляторах для подальшого використання.

Комп'ютеризовані системи керування оптимізують використання енергії залежно від поточного навантаження, швидкості судна, рівня заряду акумуляторів і умов навколишнього середовища.

Компанія ABB пропонує гібридні енергетичні системи, які поєднують дизельні генератори з акумуляторними системами, що забезпечує високу ефективність та зменшення викидів.

ABB запускає рішення автоматизації C-CAM для суден торгового флоту. Дане рішення від АББ застосовується до суднових систем, керування живленням, контролю вантажу та вимірювання цистерн. Перше рішення для морської автоматизації, яке містить огляд системних даних у мобільному додатку. ABB Ability™ Edgenius Operations Data Manager надає доступ до даних тривоги та моніторингу незалежно від місцезнаходження користувача на борту. Система включає станції оператора, карти вводу-виводу та центральні процесори з шафами, мережеве обладнання та системи сигналізації та розширення. Судновласники також можуть вказати включення системи керування енергоспоживанням від ABB (PEMS™).

Контейнерна система зберігання енергії. Контейнерна система зберігання енергії від АББ – повне, автономне акумуляторне рішення для великомасштабного морського накопичувача енергії. Батареї та

перетворювачі, трансформатор, елементи керування, охолодження та допоміжне обладнання попередньо зібрані в автономному блоці для використання «підключи та працюй». Доступний для простого встановлення на палубі для різноманітних типів суден, таких як OSV, контейнеровози та пороми, рис. 4. [9].

Система легко інтегрується з системами суден і ідеально підходить для модернізації та новобудови. Однією з ключових особливостей є можливість доступу до системи ззовні пристрою для додаткової безпеки та максимального використання простору в контейнері.



Рисунок 4 – Контейнерна система зберігання енергії від ABB

Морська система зберігання енергії зберігає енергію, коли попит низький, і повертає її, коли попит зростає, підвищуючи продуктивність енергетичної установки судна. Потік енергії контролюється динамічною системою управління накопиченням енергії АББ. Він дає змогу використовувати кілька нових режимів роботи електростанції, які покращують оперативність, надійність, безпеку та споживання палива.

Максимальний рівень потужності, який спостерігають двигуни, і компенсує необхідність запуску нових двигунів. Переваги включають зниження споживання палива та обслуговування двигуна.

Покращені динамічні характеристики. Миттєва потужність для підтримки роботи двигунів. Переваги включають зниження споживання палива та можливість використання «повільніших» джерел, таких як СПГ і паливні елементи. Оборотний резерв. Резервне живлення для працюючих генераторів. Переваги включають покращену безпеку та зменшення споживання палива та обслуговування двигуна.

Компанія Kongsberg розробляє комплексні гібридні системи для суден, включаючи управління енергетичними потоками для оптимізації споживання. Kongsberg Maritime прагне сприяти переходу до екологічних технологій у морській галузі. Спеціалізовані енергетичні системи розроблені для роботи буксирів лише від батареї, рис. 5. Завдяки вбудованій конструкції електронного буксира судна можуть працювати в режимі нульових викидів протягом більшої частини свого робочого часу, активуючи головний двигун лише тоді, коли для буксирування потрібна додаткова потужність.



Рисунок 5 – Спеціалізовані енергетичні системи розроблені для роботи буксирів лише від батареї ABB

Крім того, пропонуються індивідуальні гібридні архітектури живлення в поєднанні з надійними системами зберігання енергії, що гарантує вам гнучкість і ефективність, необхідні для сучасних буксирних операцій [10]

Yanmar пропонує гібридні рішення для малих і середніх суден, зокрема комбінуючи дизельні генератори з батареєю.

Siemens розробляє рішення для суднового електропостачання, в умовах зовнішнього впливу.

Висновки. Суднова гібридна генераторна установка ґрунтується на принципі комбінування різних джерел енергії для забезпечення ефективної, економічної та екологічно чистої роботи судна. Основна ідея гібридної системи полягає в поєднанні переваг традиційних дизельних

або газових двигунів із електричними двигунами та акумуляторами. Переваги гібридних генераторних установок:

- зменшення витрат палива;
- зниження викидів CO₂ та інших шкідливих речовин;
- підвищення надійності та довговічності суднової енергосистеми;
- зниження рівня шуму та вібрацій;
- гібридні генераторні установки стають популярними на сучасних судах, таких як круїзні лайнери, пороми, буксири та навіть військові кораблі, через їхню гнучкість та екологічну сумісність.

Список використаних джерел

1. CAT marine power systems. (2024). Листопад 2024, із https://www.cat.com/ru_RU/products/new/power-systems/marine-power-systems.html
2. Конвенция СОЛАС - 74. (2021, Липень 16). МИУ. <https://www.nautinst.com.ua/konvenciya-solas-74/>
3. ISM-code. Безопасность жизнедеятельности на море. (2013, Листопад 16). <https://navlib.net/ism-code/>
4. IEC/PAS 60092-510:2009. (2024). ISO. Вилучено 11, Листопад 2024, із <https://www.iso.org/standard/53587.html>
5. Lloyd's Register trusted advice in the maritime industry | LR. (б. д.). Вилучено 11, Листопад 2024, із <https://www.lr.org/en/>
6. DNV.com—When trust matters. (2024). DNV. Вилучено 11, Листопад 2024, із <https://www.dnv.com/>
7. Optimized propulsion systems. (2024). MAN Energy Solutions. Вилучено 04, Листопад 2024, із <https://www.man-es.com/marine/solutions/optimized-propulsion-systems>
8. Marine generating sets – Wärtsilä. (2024). Wartsila.Com. Вилучено 04, Листопад 2024, із <https://www.wartsila.com/marine/products/engines-and-generating-sets/generating-sets/wartsila-genset>
9. Containerized Maritime Energy Storage | ABB Marine & Ports. (2024). Marine. Вилучено 04, Листопад 2024, із <https://new.abb.com/marine/systems-and-solutions/electric-solutions/containerized-maritime-energy-storage-solution>
10. Work Boats. (2021). Вилучено Червень 24. <https://www.kongsberg.com/maritime/solutions/workboats/>

УДК 629.064.5

Кобилев С.Е., Чекунов В.К.

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

СТВОРЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ГРЕБНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ ПОДВІЙНОГО СТРУМУ

Проектування, а також правильна експлуатація гребних електричних установок з найбільш повним задоволенням найрізноманітніших, а іноді і суперечливих вимог неможливі без знання й уміння розрахунковим шляхом визначити всі явища, що відбуваються при перехідних процесах. Велике значення має вивчення перехідних процесів гребного електропривода з метою визначення тривалості пуску, гальмування і реверса, тривалості переходу від одного стану до іншого, а також для одержання даних, необхідних при побудові навантажувальних діаграм, тобто при встановленні залежностей обертаючого моменту, потужності, струму, частоти обертання гребного електродвигуна від часу: $m_d = f_1(t)$; $p_d = f_2(t)$; $i_d = f_3(t)$; $n_d = f_4(t)$.

Навантажувальні діаграми перехідних процесів виявляють як миттєві перевантаження гребного електропривода, так і обставини його нагрівання. Винятково важливого значення набуває вивчення перехідних процесів у схемах автоматизованого гребного електропривода, що знаходить усе більше застосування на сучасних електроходах.

Метою роботи є створення математичної моделі гребної електричної установки подвійного струму.

Схема заміщення гребної електричної установки (ГЕУ) подвійного струму представлена на рис. 1.

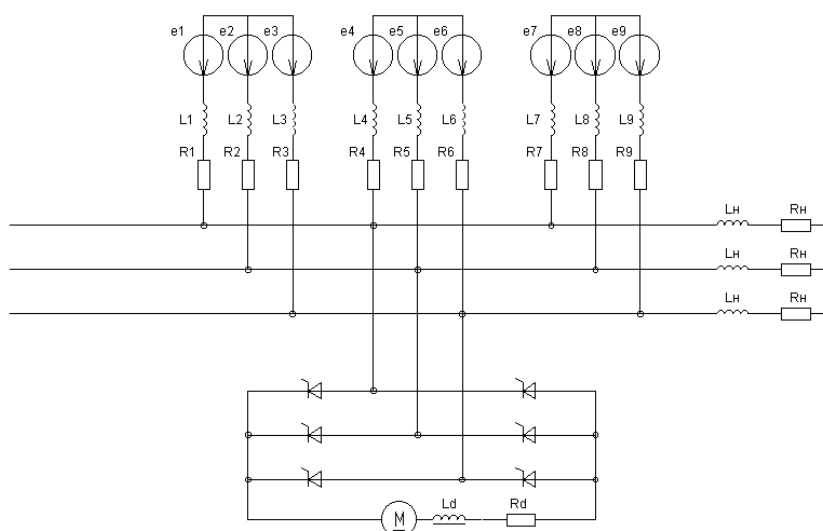


Рисунок 1 – Схема заміщення ГЕУ подвійного струму

Застосування симетричних математичних моделей відкриває великі можливості для створення алгоритму дослідження електроенергетичних систем, тому що дозволяє підходити до створення математичних моделей таких систем з єдиних позицій.

Сутність такого підходу полягає в наступному. Елементи, що утворюють СЕЕС представляються в математичній моделі багатополюсними компонентами, рівняння яких записані на підставі закону Ома. Такими багатополюсними компонентами є: синхронні машини, двигуни, загально суднове навантаження і т.п. Це елементи, що представляють собою єдину конструкцію. Ці рівняння не зв'язані один з одним через матриці параметрів і можуть відрізнятися за формою. Вхідними координатами рівнянь багатополюсних компонентів є: напруга, вихідні струми гілок і їх утворюючі.

$$I_k = Y_k (U_k + E_k); \quad (k = 1, 2, \dots, z), \quad (1)$$

де I_k – струми гілок багатополюсних компонентів;

U_k – напруга гілок багатополюсних компонентів;

E_k – ЕРС, що діє в гілках багатополюсних компонентів;

Y_k – матриця параметрів;

z – число багатополюсних компонентів.

Об'єднанням математичних моделей елементів у єдину систему здійснюється на підставі 1-го закону Кирхгофа, що у матричній формі має вид:

$$П \cdot I = 0, \quad (2)$$

де $П$ – матриця інцидентів; I – вектор струмів гілок (полюсів).

Рівняння (1) і (2) утворюють математичну модель системи. Ці рівняння, дозволені щодо векторів стану подають повну інформацію про СЕЕС і можуть бути використані при рішенні задач методом прямого моделювання.

Повні рівняння математичної моделі електроенергетичної системи в загальному виді запишуться:

$$\begin{aligned} U &= \Pi_f \Phi; \\ U_k^* &= A_k U_k; \\ I_k^* &= A_k I_k; \\ L \left(\frac{dI_k^*}{dt} \right) + R I_k^* - U_k^* &= 0; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{dI_k}{dt} = A^{-1} \left(\frac{dI_k^*}{dt} \right);$$

$$F = \Pi \cdot I,$$

де U_k^* , I_k^* – вектори напруг і струмів у власній координатній системі багатополюсного компонента;

U_k , I_k – вектори напруг і струмів у базовій системі координат;

A – перетворювач координат;

L , R – матриці параметрів багатополюсного компонента.

Принципова схема ГЕУ, яка моделюється приведена на рис. 1. З рисунку видно, що вся схема може бути представлена 5-ма багатополюсними компонентами.

Перші два – це синхронні генератори, математичний опис яких аналогічний, але повинен бути математичний опис двох генераторів. Це необхідно для того, щоб визначити миттєве значення фазних струмів для кожного генератора окремо.

Третій багатополюсний компонент – це гребний електродвигун постійного струму.

Четвертий компонент – еквівалентний асинхронний двигун суднового навантаження.

П'ятий багатополюсний компонент – загально суднове навантаження, яке представлено еквівалентним L - R колом.

Математична модель синхронної машини

Скористаємося рівняннями синхронної машини, записаної в осях d , q приведеної в [1].

При цьому приймаємо наступні стандартні допущення:

- витки обмоток симетрично розташовані в просторі;
- машина симетрична, тобто обмотки мають однакове число витків, зрушені на 90° , у випадку використання неявнополюсної машини зазор між статором і ротором рівномірний;
- машина не має зубців, створюваних пазами, але може бути явнополюсною;
- машина не насичена; енергія магнітного полюса зосереджена в повітряному зазорі;
- енергією електростатичного поля не беремо до уваги, що дозволяє не враховувати впливу ємкостей в середині обмоток і між ними.

У рівняннях прийняті наступні позначення:

- U_0 , U_d , U_q – напруги синхронної машини по осях 0 , d , q ;
- I_0 , I_d , I_q – струми синхронної машини по осях 0 , d , q ;
- U_f – напруга обмотки збудження;
- I_f – струм в обмотці збудження;
- X_d – синхронний реактивний опір машини по осі d ;
- X_q – синхронний реактивний опір машини по осі q ;
- X_{ff} – реактивний опір обмотки збудження;
- r_d – активний опір обмотки по осі d ;
- r_q – активний опір обмотки по осі q ;
- X_d' – перехідний реактивний опір по осі d ;
- X_q' – перехідний реактивний опір по осі q ;
- X_d'' – зверхперехідний реактивний опір по осі d ;
- X_q'' – зверхперехідний реактивний опір по осі q ;
- T_{do} – постійна часу обмотки збудження синхронної машини;
- T_d' – перехідна постійна часу синхронної машини по осі d ;
- T_q' – перехідна постійна часу синхронної машини по осі q ;
- T_d'' – зверхперехідна постійна часу синхронної машини по осі d ;
- T_q'' – зверхперехідна постійна часу синхронної машини по осі q .

Входом у кожен з цих компонентів моделюючих синхронну машину є вектора струмів $I = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix}$ і напруг $U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix}$

фазній системі координат.

Для використання в рівняннях по осях 0 , d , q . Ці вектори повинні бути перетворені відповідно у фазні струми і напруги за допомогою перетворювача координат:

$$A = \begin{array}{|c|c|c|} \hline \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 \\ \hline \cos \omega t & \cos(\omega t + 2\pi/3) & \cos(\omega t + 4\pi/3) \\ \hline \sin \omega t & \sin(\omega t + 2\pi/3) & \sin(\omega t + 4\pi/3) \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{pmatrix} i_o \\ i_d \\ i_q \end{pmatrix} = A \cdot \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} U_o \\ U_d \\ U_q \end{pmatrix} = A \cdot \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{pmatrix}.$$

Як приклад розглядається тільки генератор G1. Отримані в результаті струми і напруги зв'язаних диференціальними рівняннями:

$$\begin{cases} \frac{X_o}{\omega_c} \cdot \frac{di_o}{dt} - r_o i_o - U_o = 0; \\ \frac{-X_d}{\omega_c} \cdot \frac{di_d}{dt} - \frac{X_{ad}}{\omega_c} \cdot \frac{di_f}{dt} - \frac{X_{1d}}{\omega_c} \cdot \frac{di_{1d}}{dt} - r_d i_d - \omega \cdot X_q i_q - \omega \cdot X_{1q} i_{1q} - U_d = 0; \\ \frac{-X_q}{\omega_c} \cdot \frac{di_q}{dt} - \frac{X_{aq}}{\omega_c} \cdot \frac{di_{1q}}{dt} + \omega \cdot X_d i_d - r_q i_q + \omega \cdot X_q i_q + \omega \cdot X_{aq} i_{1q} - U_q = 0; \\ \frac{X_{ad}}{\omega_c} \cdot \frac{di_d}{dt} + \frac{X_{ff}}{\omega_c} \cdot \frac{di_f}{dt} + \frac{X_{f1d}}{\omega_c} \cdot \frac{di_{1d}}{dt} + r_f i_f - U_f = 0; \\ \frac{X_{a1d}}{\omega_c} \cdot \frac{di_d}{dt} + \frac{X_{f1d}}{\omega_c} \cdot \frac{di_f}{dt} + \frac{X_{11d}}{\omega_c} \cdot \frac{di_{1d}}{dt} + r_{1d} i_{1d} = 0; \\ \frac{X_{a1q}}{\omega_c} \cdot \frac{di_q}{dt} + \frac{X_{11d}}{\omega_c} \cdot \frac{di_{1q}}{dt} + r_{1q} i_{1q} = 0. \end{cases}$$

Рішенням цих диференціальних рівнянь є перші похідні струмів $\frac{di_o}{dt}$; $\frac{di_d}{dt}$; $\frac{di_q}{dt}$, що обчислюються на кожному кроці інтегрування. Тому як рішення робимо у фазних координатах, то ці величини пропускаємо через зворотне перетворення координат. У результаті одержимо:

$$\frac{d}{dt} \cdot \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{pmatrix} = A^{-1} \begin{pmatrix} i_o \\ i_d \\ i_q \end{pmatrix}.$$

Параметри контурів збудження і демпферних контурів можна розрахувати по [3]:

$$\begin{aligned} X_f &= \frac{(X'_d - X_s)X_{ad}}{X_d - X'_d}; & r_f &= \frac{X_{ad} + X_f}{\omega \cdot T'_{do}}; \\ X_{1d} &= \frac{(X'_d - X_s)(X''_d - X_s)}{X'_d - X''_d}; & r_{1d} &= \frac{X'_d - X_s + X_{1d}}{\omega \cdot T'_{do}}; \\ X_{1q} &= \frac{(X''_d - X_s)X_{aq}}{X_q - X''_q}; & r_{1q} &= \frac{X_{aq} + X_{1q}}{\omega \cdot T''_{qo}}; \end{aligned}$$

Математична модель гребного електродвигуна

Гребний електродвигун – машина постійного струму, що може бути описана наступними рівняннями у фазній системі координат:

$$\text{для кола якоря } L_{\pi} \left(\frac{di_{\pi}}{dt} \right) + R_{\pi} i_{\pi} + k\omega = u_{10};$$

$$\text{рівняння руху } J \left(\frac{d\omega}{dt} \right) = k i_{\pi} - M_{ст},$$

де i_{π} – струм якоря; i_{10} – струм математичної моделі; u_{10} – напруга після випрямлювача; J – момент інерції (приведений); $M_{ст}$ – статичний момент опору.

$$\text{Входом у цей компонент є струм якоря } (i_{10}) \text{ і напруга на двигуні } u_{10}, \text{ виходом } - \frac{di_{\pi}}{dt} = \frac{di_{10}}{dt}.$$

Математична модель загально суднового навантаження

Загально суднове навантаження може бути представлена $L - R$ колом, рівняння якого представлені в наступній формі:

$$L_n \left(\frac{di_n}{dt} \right) + R_n i_n = u_n,$$

де L_n, R_n – еквівалентні опори суднової мережі.

Рівняння записані в природній (фазовій) системі координат. Входом є струми i_{11}, i_{12}, i_{13} і напруги u_{11}, u_{12}, u_{13} .

Виходом – перші похідні струмів $\left(\frac{di_{11}}{dt} \right); \left(\frac{di_{12}}{dt} \right); \left(\frac{di_{13}}{dt} \right)$.

У такий спосіб покомпонентний опис закінчений.

Об'єднання багатополюсних компонентів у єдину систему здійснюється у фазовій системі координат за допомогою матричних операцій:

$$U = \Pi \cdot I, \quad F = \Pi \cdot I,$$

де U, I – вектора напруг і струмів багатополюсних компонентів розмірністю числа галузей (у розглянутій моделі 13);

Φ – вектор потенціалів вузлів розмірністю числа вузлів (у розглянутій моделі 6);

Π – матриця інциденцій системи.

У розглянутому випадку матриця інциденцій має вид:

$$\Pi =$$

-1			-1			-1				1		
	-1			-1			-1				1	
		-1			-1			-1				1
									+1			
									-1			
										-1	-1	-1

Математична модель мостового випрямляча

Структура мостової схеми представлена на рис. 2. На цій схемі символами P1 - P6 позначені контакти, що моделюють роботу тиристорів.

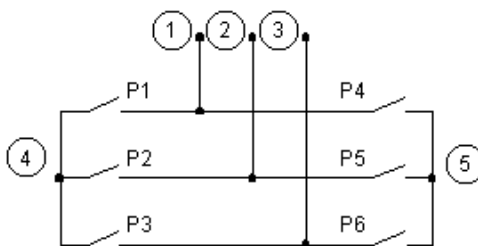


Рисунок 2 – Структура мостової схеми

Якщо тиристор відкритий (контакт замкнутий), то оперативно перебудовується матриця інциденцій, тому що вузли в цьому випадку поєднуються. Так, наприклад, якщо відкритий тиристор T1 (замкнутий контакт P1), то поєднуються вузли 1 і 4. За об'єднанням вузлом установлюється номер меншого.

Якщо відкритий тиристор 1 і 2 – то поєднують вузли 1, 2 і 4, що мають загальний номер 1. У такий спосіб оперативно перебудовується матриця інциденцій, але структура багатополюсних компонентів (рівняння, що описують елементи ГЕУ) при цьому не змінюється. Отже, для оперативного перебудовування матриці інциденцій, необхідно на кожному кроці інтегрування аналізувати стан вентильних елементів. Тиристорний елемент будемо вважати відкритим $P_k = 1$, $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$, якщо виконані наступні умови:

$$P = \Phi_n \wedge \Phi_\phi \vee \Phi_i,$$

де $\Phi_n = 1$, якщо на тиристор поданий керуючий імпульс;

$\Phi_n = 0$, у іншому випадку;

$\Phi_\phi = 1$, якщо потенціал анода більше потенціалу катода тиристора;

$\Phi_\phi = 0$, у іншому випадку;

$\Phi_i = 1$, якщо струм, який протікає через тиристор, більше струму утримання;

$\Phi_i = 0$, у іншому випадку.

По стані тиристорів будемо матрицю безпосередніх зв'язків вузлів:

$$P_o =$$

1			P ₁	P ₄
	1		P ₂	P ₅
		1	P ₃	P ₆
P ₁	P ₂	P ₃	1	
P ₄	P ₅	P ₆		1

Тому що можливі різні режими роботи тиристорного випрямлювача (1 – 2), (2 – 3), (3 – 4) у залежності від струмів, характеру навантаження, кутів комутації, то необхідно обчислювати матрицю повних досягань:

$P = \text{Rom}^{-1}$, де M – число вузлів, зв'язаних комутаційними елементами.

Матриця P може бути використана безпосередньо для перебудовування матриці інцидентів $P \cdot \Pi$. Цей добуток можна застосовувати замість матриці Π . Однак, матриця повних досягань має надлишкову інформацію і при її використанні, наприклад, у першому законі Кирхгофа, виникає кілька ідентичних рівнянь, число яких дорівнює числу об'єднаних вузлів. Ця надмірність усувається, якщо перейти від матриці повних досягань до перемикаючої матриці, елементи якої обчислюються по формулі:

$$B_{ij} = P_{ij} \wedge P_{i0}$$

де $i, j = 1, 2, 3, 4, 5$.

Матриця B має трикутну форму, оскільки процедура її обчислення перетворює в 0 всі елементи під головною діагоналлю.

B =	$p_1 p_2 \vee p_3 p_4 \vee p_3 p_6$ $(p_1 p_5 \vee p_2 p_4)$	$p_1 p_3 \vee p_4 p_6 \vee p_2 p_5$ $(p_1 p_6 \vee p_3 p_4)$	$p_1 \vee p_4$ $(p_1 p_6 \vee p_3 p_4)$	$p_4 \vee p_1$ $(p_2 p_5 \vee p_3 p_6)$
	$p_1 p_4 \vee p_2 p_5 \vee$ $p_2 p_3 p_4 \vee p_1 p_3 p_5 \vee$ $p_2 p_4 p_6 \vee p_1 p_5 p_6$	$p_1 p_4 p_2 p_3 \vee p_1 p_4 p_5 p_6$ $p_1 p_4 p_3 p_5 p_6 \vee$ $p_1 p_5 p_6 p_2 p_3$	$p_5 p_4 p_2 \vee p_1 p_2 p_3 p_2$ $p_1 p_5 p_6 p_2 \vee$ $p_5 p_6 p_3 p_1 p_4$	$p_5 p_1 p_4 \vee p_5 p_5 p_4 p_3$ $p_5 p_2 p_4 p_6 \vee p_2 p_3 p_6 p_1 p_4$
		$p_3 p_6 \vee p_1 p_5 p_6$ $p_3 p_4 p_5 \vee p_1 p_2 p_4 p_5$	$p_3 p_1 p_2 p_6 \vee$ $p_3 p_1 p_2 p_4 p_6$	$p_6 p_3 p_4 p_5 \vee$ $p_6 p_1 p_2 p_4 p_5$
			$p_1 p_2 p_3$	
				$p_4 p_5 p_6$

Тепер перебудовування матриці інцидентів здійснюється за допомогою перемикаючої матриці B , а добуток $B \cdot \Pi$ цілком описує зміна інцидентності галузей при будь-яких режимах роботи мостового випрямляча.

Висновки. Математичні моделі, побудовані з урахуванням цих вимог мають бути найбільш перспективними з погляду аналізу електроенергетичних систем. У математичному описі функціонування ГЕУ можна виділити три рівні – логічний L , алгебраїчний A і рівень диференціальних рівнянь D .

Кожному рівню опису відповідає своя мова математичного опису і відповідний метод дослідження. Для повного аналізу системи необхідно одночасний розгляд усіх рівнів.

Найбільш абстрактною формою представлення СЕЕС є логічний рівень, що відображає топологічну структуру системи й алгоритм зміни структури мовою алгебри логіки. На логічному рівні опису здійснюється визначення стану комутаційних елементів (у розглянутій моделі – тиристорів), перебудовування топологічних матриць і топологічної комутаційної мережі.

Другий, алгебраїчний рівень A , дозволяє визначити розподілення струму в модельованій системі. Елементи СЕЕС у цьому випадку описані алгебраїчними рівняннями, об'єднаних у систему за допомогою топологічних матриць, обумовлених на логічному рівні.

Найбільш повний опис системи виходить при обліку динаміки, тобто при підключенні рівня D – диференціальних рівнянь.

Багатополісні компоненти, що представляють собою елементи СЕЕС, описані диференціальними рівняннями. Об'єднання розрізнених компонентів у математичну модель СЕЕС здійснюється за графіком на підставі топологічних матриць, визначених на логічному рівні і з урахуванням струмів у комутаційних елементах, визначених на рівні алгебраїчного опису. Такий підхід зручний, тому що дозволяє вирішувати багато питань аналізу СЕЕС на одній і тій же моделі, але за різними критеріями.

Список використаних джерел

1. Моделювання електромеханічних систем: / Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й., Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. – Кременчук, 2001. – 410 с.
2. Григорьев А.В. Экспериментальные исследования системы электродвижения переменного тока с полупроводниковым преобразователем. Судостроение №3, 2007. 30-32 с.
3. Моделювання електромеханічних систем. Навчальний посібник / О.І. Толочко. – Київ, НТУУ «КПІ», 2016. – 150 с.
4. Чекунов В.К., Лесін А.М. Моделювання роботи гребної електричної установки змінного струму. Проблеми автоматики та електрообладнання транспортних засобів. Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю. Миколаїв: НУК, 2008. – 133-139 с.
5. Дослідження процесів в гребних електричних установках подвійного струму. Чекунов В.К., Алесандровський С.Ю., Бандура С.І.//Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали XV Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2024.

УДК 681.5

*Бистревський Ю.Є., Овсянников В.М., к.т.н., доц.**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв***АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ЛЕГКОВИХ ЕЛЕКТРОКАРІВ**

Вступ. Розробка електроприводу для легкових електромобілів є важливим напрямом сучасного машинобудування, зважаючи на потребу в екологічно чистих і економічно ефективних транспортних засобах. Висока ефективність електроприводу досягається завдяки використанню новітніх конструкцій електродвигунів та енергетичних систем, які забезпечують оптимальний баланс між потужністю, енергоефективністю та надійністю роботи приводу. Дослідження в цій галузі орієнтовані на застосування постійних магнітів, використання сучасних перетворювачів напруги та удосконалення алгоритмів керування, що дозволяє значно підвищити динамічні характеристики електроприводу.

Аналіз сучасних літературних джерел [1 - 4] показує, що основні напрями розвитку електроприводів включають: підвищення щільності потужності за рахунок нових матеріалів, зниження втрат на обмотках, оптимізацію тепловідведення та інтеграцію систем рекуперації енергії. Серед основних проблем, які залишаються невирішеними, можна виділити обмежений термін служби батарей, їх високу вартість та складнощі з утилізацією.

Метою роботи є детальний аналіз процесу розробки електроприводу для легкового автомобіля, визначення основних технічних вимог до його компонентів, а також вивчення принципів функціонування та переваг використання електроприводу в сучасному автомобілебудуванні.

Основна частина. Відколи інженери всерйоз заговорили про переведення автомобілів на електротягу, електромобілі встигли пройти довгий шлях еволюції. І сьогодні їх умовно можна поділити на кілька поколінь.

Отже, до першого покоління можна віднести легкові електромобілі, створені зі звичайних машин. У них ДВЗ під капотом замінювали на електромотор з інвертором, а акумулятори ставили на місце паливного бака та у багажник, серйозно зменшуючи обсяг останнього. І все одно великим запасом ходу BEV першого покоління похвалитися не могли, оскільки енергію такі машини витрачали неоптимально – адже у них зберігалася звична трансмісія та інші атрибути паливного автомобіля. Невисокою була й швидкість пересування. А плюс такої конструкції був лише один — відносна дешевизна. До першого покоління можна віднести численні прототипи минулих років або, наприклад, дрібносерійний RAV4 EV далекого 1997 року.

Другим щаблем еволюції стали автомобілі, лише частково уніфіковані з моделями з ДВЗ, конструкція яких спеціально дорацьовувалась під використання електричної силової установки. У них вже не було звичайної трансмісії, але під розміщення електричних вузлів йшли ті самі «порожні» місця, які залишалися після відмови від ДВЗ. Така конструкція покращувала характеристики електромобіля, але ще не робила його рівним бензиновому чи дизельному автомобілю. Характерні приклади – Kia Soul EV 2014 або VW E-Golf 2015 років з батареями під передніми сидіннями і у центральному тунелі, які були здатні проїжджати без підзаряджання трохи більше 100 км. Найбільш пристосованим до щоденної експлуатації у цьому поколінні виявився Nissan Leaf – у японського хетчбека вже не було аналогів з ДВЗ, але велика кількість його вузлів, як і раніше, залишалися уніфікованими з іншими моделями японської марки.

Відлік третього покоління можна вести з легендарного ліфтбека Tesla Model S – першого серійного електромобіля з плоскою батареєю під підлогою салону та двигуном, встановленим ззаду, де у звичайних машин зазвичай розміщується паливний бак. Таке компонування майже неможливе з ДВЗ через розміри силового агрегату, зате в електромобілі дає ряд переваг: електрична начинка не забирає місце у пасажирів та вантажу, а важка батарея під підлогою позитивно впливає на розважування машини та керованість (за рахунок низького розташованого центру тяжіння). Але головне – сама батарея може мати більші розміри і, відповідно, більшу ємність, що, звичайно, позитивно впливає на запас ходу.

Tesla також запровадила двомоторну схему, в рамках якої кожен електродвигун обертає свою вісь. Крім очевидних переваг повнопривідності, це дозволяє зробити кожен з електромоторів більш компактним та легким; а також збільшити загальну потужність силової установки, що покращує не тільки динаміку, а й економічність, тобто підвищує запас ходу на одній зарядці. Парадоксу тут немає, адже потужні мотори – це й потужні генератори, що виробляють додаткову електроенергію при гальмуванні. Подібним чином влаштований ще й, наприклад, Jaguar I-Pace, який поєднує батарею в підлозі з пристойними поза шляховими здібностями.

Інші розробники розвинули багатомоторну ідею далі. Наприклад, у сучасного Audi e-tron S моторів вже три – кожне заднє колесо приводиться до руху своїм двигуном, а третій двигун використовується для реалізації тяги на передній осі. Водночас є вже машини, які оснащуються чотирма двигунами! Це, наприклад, Rivian R1T, Rimac C_Two, ін.

При відмінностях у компонуванні та ефективності електромобілі всіх поколінь мають багато спільного у конструкції: набір основних вузлів та агрегатів у них практично однаковий. Розглянемо їх по черзі.

На початку конструктивного створення електрокарів найбільш поширеним рішенням було використання в приводах автомобілів колекторних двигунів постійного струму. Схема одного з таких прикладів (електропривод тролейбуса) наведено на рис.1.

Такий електропривод називають електроприводом постійного струму [4] . Електропривод електромобіля містить акумуляторну батарею, електродвигун постійного струму та напівпровідникові пристрої. Вихід акумуляторної батареї через некерований клапан підключено до іоністора, вихід якого через напівпровідниковий ключ, шунтований зворотним діодом, підключено до електродвигуна, шунтованого зворотним діодом та напівпровідниковим елементом, керуючі електроди напівпровідникових ключів підключені до мікропроцесора.

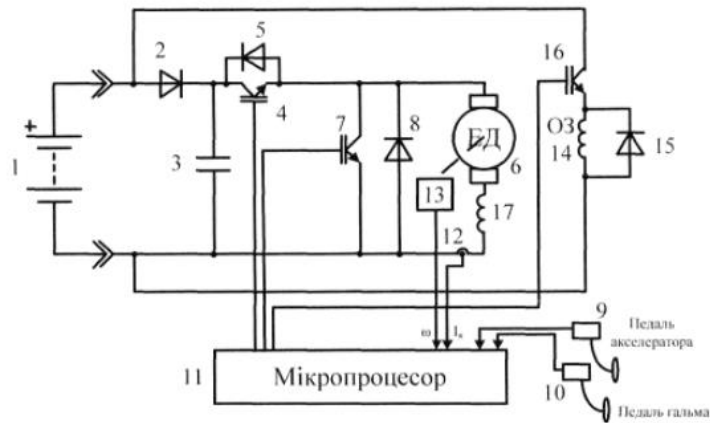


Рисунок 1 – Схема електропривода кара з колекторним тяговим двигуном постійного струму:

1 - акумуляторна батарея; 2 - блокуючий діод; 3 - іоністор; 4 - напівпровідниковий ключ; 5 - 40 зворотний діод; 6 - електродвигун постійного струму; 7 - гальмівний напівпровідниковий ключ; 8 - шунтуючий діод двигуна; 9 - важіль акселератора; 10 - важіль гальма; 11 – керуючий мікропроцесор; 12 - давач струму; 13 - давач швидкості; 14 – шунтова обмотка збудження; 15 – зворотний діод обмотки збудження; 16 - силовий напівпровідниковий ключ живлення обмотки збудження; 17 – послідовна (серісна) обмотка збудження.

Електроприводом змінного струму [5, 6] називається електромеханічна система, призначена для приведення в рух робочих органів машин і механізмів, управління їх технологічним процесом, що складається з двигуна змінного струму, перетворювального пристрою, пристрою управління та передавального пристрою.

Функціональна схема електроприводу змінного струму представлена на рисунку 2.

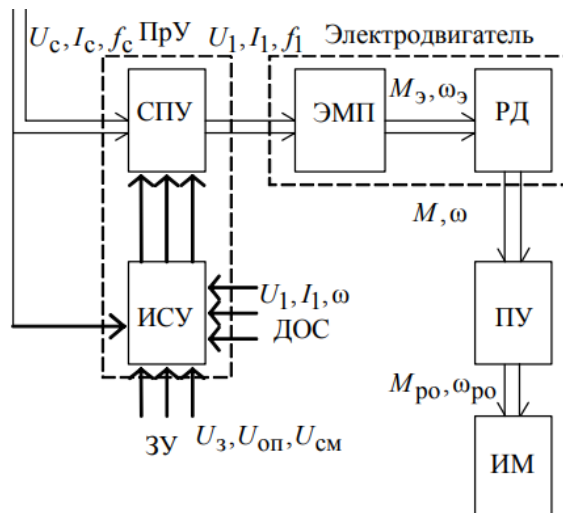


Рисунок 2 – Функціональна схема електропривода змінного струму:

На рисунку 2 прийнято такі позначення:

ПрУ - пристрій управління електромобіля;

СПУ - силовий перетворювальний пристрій (контролер живлення та тяговий інвертор);

ISU – інформаційна система управління (контролер керування електрокара, порт зарядження, перетворювач струму зарядження, допоміжний бортовий акумулятор);

ЕМП – електромеханічний перетворювач (синхронний, або асинхронний тяговий електродвигун);

РД – ротор двигуна;

ПУ – передавальний пристрій (трансмісія);

ИМ – робочий орган виконуючого механізму (колеса електрокара);

ЗУ – задавальний пристрій (загальні пристрої керування електроавтомобілем);

ДОС – датчики зворотнього зв'язку;

U_c, f_c, I_c – напруга, частота та струм, споживаний двигуном (постійна напруга від тягового акумулятора);

U_1, f_1, I_1 – напруга, частота та струм обмоток статора двигуна змінного струму;

M_3, ω_3 – електромагнітний момент і швидкість обертання магнітного поля тягового електродвигуна;

M, ω – момент і швидкість обертання тягового електродвигуна;

M_{po} , ω_{po} – момент і швидкість обертання трансмісії електрокара;

$U_3, U_{оп}, U_{см}$ - задаючі сигнали: задаючі напруги, опорна напруга, напруги зміщення.

З поняття «електропривод змінного струму» та його функціональної схеми слідує, що електропривод електромобіля складається з чотирьох основних частин:

- з електричного тягового двигуна змінного струму;
- з контролера живлення та тягового AC/DC інвертора;
- з трансмісії кар;
- з системи управління електромобіля.

На сьогодні існують декілька основних модифікацій тягових електродвигунів. Розглянемо основні з них. Звичайно, що електродвигун - головний агрегат будь-якого електрокара. Принцип роботи двигуна електромобіля базується на використанні потужності тягової акумуляторної батареї. Деякі моделі обладнані мотором-генератором, який відіграє роль і приводу, і регенерації. Звичайний електромотор включає струмопровідну обмотку статора та обертового ротора, який приводиться в рух магнітним полем статора і передає обертовий момент колесам. Електродвигуни бувають 2 типів: синхронні та асинхронні.

Типи двигунів електрокарів.

Електродвигун в сучасному світі сам по собі давно не є чимось новим. Однак зараз цей агрегат став дуже популярним. І в першу чергу завдяки активному розвитку електромобілів. Все частіше виникають дискусії на тему переваг і недоліків електродвигунів, варто брати чи ні електрокар і т.п. Розглянемо особливості електродвигунів, їх різновиди, переваги і недоліки, а також перспективи подальшого поширення.

Існує досить багато різних електродвигунів, що відрізняються по конструкції, принципу дії, характеристикам. Всі їх можна класифікувати наступним чином:

Двигуни постійного струму (колекторні): з постійними магнітами; з послідовним збудженням; з паралельним збудженням; з незалежним збудженням; зі змішаним збудженням; безколекторні або безщіткові.

Двигуни змінного струму (синхронні та асинхронні): однофазні; двофазні; трифазні; багатофазні; універсальні.

Двигун постійного струму для електромобіля - перший і найменш бюджетний варіант електродвигуна. При цьому, як правило, використовується безколекторний двигун для електромобіля. Більш сучасні і дорогі - асинхронні двигуни.

Наприклад, використовувати асинхронний двигун для електромобіля – одне з ключових рішень інженерів Tesla. В результаті потужний двигун електромобіля Tesla став запорукою динамічності цих електрокарів, що, багато в чому, і забезпечило вибір споживачів.

В приводах електромобілів використовують безколекторні мотори. Найбільш ефективний з них – так званий синхронний електродвигун змінного струму з постійними магнітами в якості ротора. Мінуси – ціна (при виготовленні магнітів використовуються рідкісні метали), а також труднощі в управлінні через постійне магнітне поле. Тому такі мотори застосовують у дорогих та потужних електромобілях, наприклад, Porsche Taycan та Tesla Model S.

Найчастіше застосовують менш дорогі у виробництві електродвигуни з індукційними котушками замість магнітів, що теж працюють від змінного струму. Вони можуть бути синхронними (наприклад, у Renault Zoe), але частіше обертання ротора відстає від обертання магнітного поля, котре створюється котушками статора. Через це такі двигуни називають асинхронними. У них нижчий ККД, зате вони простіші в управлінні. Такими двигунами оснащуються, наприклад, Audi e-tron. Загальний вигляд такого двигуна наведено на рис. 3.

В таблиці 1 наведені основні характеристики сучасних тягових електродвигунів, які найчастіше використовуються в електроприводах карів.



Рисунок 3 - Загальний вигляд сучасного тягового двигуна.

За планами багатьох автоконцернів [2] – саме за тяговим двигуном для електромобіля – майбутнє. Так відомо, що в плані розвитку відомого гіганта Bentley Motors значиться, що до 2030 року компанія повністю трансформується у виробника електроавтомобілів. На електродвигуни ставки роблять такі відомі на весь світ компанії, як Nissan, Volvo, Aston Martin.

Таблиця 1 - характеристики сучасних тягових електродвигунів

Тип двигуна Volkswagen e-Up (2019 р.)	Синхронний двигун з постійними магнітами
Потужність	65 кВт
Обертів за хвилину	12000 об/хв
Крутний момент	212 Н*м
Живлення двигуна постійною напругою	367 В
Піковий струм	177 А
Тип двигуна Kia Soul EV (2019 р.)	Трифазний синхронний двигун з постійними магнітами
Потужність	100 кВт
Обертів за хвилину	8000 об/хв
Крутний момент	395 Нм
Живлення двигуна постійною напругою	356 В
Піковий струм	280 А
Тип двигуна Tesla Model S Dual Motor (Long Range) (2020 р.)	Трифазний асинхронний двигун з електромагнітами
Потужність	500 кВт
Обертів за хвилину	16000 об/хв
Крутний момент	755 Н*м
Живлення двигуна постійною напругою	400 В
Піковий струм	1250 А

Трансмісія електрокарів. Всі двигуни, котрі застосовуються в електромобілях, розвивають дуже високий крутний момент, буквально з нульових оборотів, можуть розкручуватися до дуже високих швидкостей та змінювати напрямок обертання. Тому електромобілям не потрібна складна багато швидкісна коробка передач та важка трансмісія, як автомобілям з ДВЗ.

Досить простого та надійного редуктора з пониженням (зазвичай у вигляді планетарної передачі), підключеного безпосередньо до двигуна. На потужних та швидких машинах його може доповнювати двоступенева коробка, що дозволяє поєднати потужну тягу на низах з високою максимальною швидкістю. Оскільки в електромобілях немає коробки передач та карданного приводу коліс, то електродвигун працює ефективно у будь-якому діапазоні швидкостей. Тому більшість електрокарів обладнані одношвидкісною коробкою (рис.4), яка знаходиться неподалік інвертора. Таким чином, режим заднього ходу можна включити за допомогою заміни лише однієї фази. Крім того, енергію гальмування можна спрямувати в заряд батареї.



Рисунок 4 – Трансмісія електромобіля

Тягова батарея. Це найдорожчий вузол електромобіля. Сьогодні вона являє собою набір елементарних акумуляторів (осередків), який управляється цілою системою з мікроконтролерів. Батареї розрізняються за ємністю, робочою напругою (на EV – від 350 до 800 Вольт), а також формою, адаптованою під компонування

конкретної моделі електромобіля. Відрізняються вони й осередками, при виготовленні яких можуть використовуватись різні матеріали. Наприклад, нікель-метал гідридні акумулятори вже вважаються застарілими, а найпопулярнішими визнані літєві осередки кількох різновидів. У перспективі мають з'явитись батареї нового покоління, які сьогодні розробляються десь у надрах електротехнічних компаній.

Батарея дає електроживлення тяговому електромотору та аксесуарам транспортного засобу [8, 9]. Вона знаходиться у під підлоговому просторі. Акумулятор містить комірки, кожна з яких складається з десятків звичайних літій-іонних батарей. Така конструкція швидко охолоджується. Система охолодження має багато каналів, в яких міститься холодоагент, його контур руху пов'язаний з компактними радіаторами в передніх повітрозбірниках. Сучасні батареї мають місткість 40–100 кВт·год (150–400 км на одному заряді).

Інвертор (рис. 5). Пристрій, який є сполучною ланкою між електродвигуном та батареєю. З назви випливає, що головне призначення цього блоку – перетворення струму, адже батарея видає та приймає постійний струм, а двигун працює на змінному [8]. Однак повноваження цієї «коробочки» набагато ширші: вона ж за командою від педаль електромобіля керує поздовжнім прискоренням або уповільненням електромобіля, регулюючи потоки енергії від батареї до двигуна і назад (при рекуперації на гальмуванні).



Рисунок 5 – Інвертор електромобіля

Він перетворює постійний струм високої напруги на змінний низької напруги. Це потрібно для роботи електродвигуна, зарядки батареї та автоаксесуарів.

Бортовий зарядний пристрій (рис. 6). Поглинає вхідну електроенергію змінного струму, яка подається через порт зарядки та перетворює її на потужність постійного струму для заряджання тягового акумулятора. А ще він відстежує характеристики акумулятора під час його заряджання (струм, напруга, стан заряду та ін.).

Процес заряджання електромобіля насправді набагато складніший, ніж може здатися з боку, тому для його контролю в машинах є окремий електронний блок [8, 9]. Адже електромобіль має вміти приймати заряд із різних джерел — від побутової розетки до спеціальних надпотужних терміналів, які, у свою чергу, теж бувають кількох форматів — європейських, американських, японських та китайських. Єдиного світового стандарту для зарядних станцій поки що, на жаль, не вироблено. Одні заряджають батареї змінним струмом, інші, практично минаючи інвертор, більш потужним постійним. Сильно залежить від способу заряду й час, який потрібний для поповнення запасів енергії.



Рисунок 6 – Бортовий зарядний пристрій електромобіля

Система охолодження. Електричний двигун набагато менше гріється, і не потребує потужного охолодження. Однак у будь-якого електромобіля все одно можна зустріти і радіатор, і систему теплових магістралей, які потрібні для тягової батареї. Адже найефективніше вона працює лише в обмеженому діапазоні температур, а при великому навантаженні, частих перехідних циклах розряд/заряд під час руху або при швидкісному зарядженні сильними струмами – сильно гріється. Терморегулювання може знадобитися інвертору, через який протікають струми дуже високих значень.

Водночас система охолодження, що працює в режимі «теплого насоса» (як інверторний кондиціонер у приміщеннях), здатна з мінімальними енерговитратами забезпечити комфорт у салоні.

Висновки. Сучасні електроприводи легкових електромобілів дозволяють досягти високої ефективності, надійності та динамічних характеристик завдяки впровадженню новітніх конструкцій електродвигунів, перетворювачів напруги та оптимізованих алгоритмів керування. Однак існує кілька важливих питань, що потребують подальшого дослідження і вдосконалення для підвищення привабливості електромобілів у масовому використанні:

1. Оптимізація систем рекуперації енергії. Незважаючи на суттєві досягнення, рекупераційні системи потребують покращення для підвищення ефективності повернення енергії під час гальмування та її ефективного зберігання.

2. Збільшення терміну служби та надійності акумуляторів. Сучасні акумуляторні батареї мають обмежений термін служби та високу вартість, що підвищує вартість експлуатації електромобілів. Розробка нових матеріалів і технологій для збільшення тривалості життя батарей є важливим напрямом досліджень.

3. Удосконалення систем керування. Для покращення енергоефективності та адаптивності електроприводу важливо розробляти інтелектуальні алгоритми керування, здатні автоматично підлаштовуватися під різні умови експлуатації і забезпечувати оптимальні показники роботи.

Подолання цих викликів забезпечить підвищення ефективності та довговічності електроприводів, зробить електромобілі більш конкурентоспроможними, сприяючи поширенню екологічно чистого транспорту.

Список використаних джерел

1. Корабльова, Н. С., Пашковський, А. М. Перспективи та тенденції розвитку електромобілів в Україні // Вісник Національного транспортного університету. — 2016. — №3. — С. 45-52.
2. Басараб, М. В. Сучасні технології розробки електроприводів для легкових електромобілів. — Львів: Вид-во ЛНУ, 2018.
3. Драган, С. М. Вплив систем рекуперації енергії на ефективність електромобілів // Вісник Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського. — 2020. — №4. — С. 78-85.
4. Бартенев, Б. М., Кириллов, В. Н. Прогнозування розвитку електротранспорту в містах України // Проблеми електроенергетики та електромеханіки. — 2019. — №2. — С. 23-30.
5. Мартиненко, А. А., Головин, В. Г. Основы электромеханики и теории электропривода. — Киев: Вища школа.
6. Электропривод змінного струму: навчальний посібник / А. Ю. Чернишев, Ю. Н. Дементьєв, І. А. Чернишев; Томський політехнічний університет. — Томськ; Видавництво Томського політехнічного університету, 2011. — 213 с.
7. Драган, С. М. Вплив систем рекуперації енергії на ефективність електромобілів // Вісник Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського. — 2020. — №4. — С. 78-85.
8. Печеный, И. А., Белевцев, М. С. Электромобили: энергетика и эксплуатация. — Москва: Машиностроение, 2013.
9. Яковлев, М. О. Электромеханические системы с регулируемым электроприводом. — Харьков: ХНАДУ, 2014.

УДК 621.314.621

Папик В.О., Овсянников В.М., к.т.н., доц.

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

РОБОТА СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ В АВАРІЙНИХ РЕЖИМАХ

Вступ. Як відомо, потужність генерування електроенергії залежить від числа генераторних агрегатів встановлених на судні. На сучасних судах для контролю та керування параметрів енергетичної установки розміщують системи керування потужністю (PMS). Ці системи контролюють процеси генерування електричної енергії та її споживання й виконують функції запобігання аварійного відключення відповідальних судових електроспоживачів, забезпечують надійну роботи енергосистеми. Вони можуть автоматично запускати й зупиняти генераторні агрегати у відповідності зі зміною навантаження в судової мережі.

Контролювання частотного обмеження виконує система FLR. Щоб уникнути аварійного відключення, система FLR подає команду на зменшення навантаження перш, ніж частота в мережі досягне границі обмеження.

Основна частина. Розглянемо роботу електростанції в аварійних режимах.

Контроль за запобіганням аварійного відключення електроживлення

1. Аварійне відключення електроживлення. Аварійне відключення електроживлення в електроенергетичних установках звичайно викликаються короткими замиканнями, перевантаженнями або відмовами в активних або реактивних системах розподілу навантаження. Належний вибір і регулювання захисних пристроїв, від коротких замикань, зобов'язаний одержати добірну скоординовану систему, що ізолює дефектний ланцюг і мінімізує ушкодження в місці замикання. Потрібно відзначити, що координація селективності заснована на постійних обчисленнях струмів короткого замикання, застосовуючи уставки в параметрах настроювання реле захисту, щоб становити допуск у контрольно-вимірювальних пристроях і динамічних різновидах. Потрібно припустити, що можуть відбутися перехідні процеси в мережі, наприклад коливання генератора, які можуть призвести до неселективних дій системи захисту [3,5].

Перевантаження відбувається, коли генеруюча потужність менше, ніж споживання електроенергії. Система може бути перевантажена декількома способами:

- Вимикач на ушкоджені генераторі роз'єднаний: через коротке замикання й навантаження системи розподіляється іншим включеним генераторам;
- Тривале перевантаження генераторної установки: коли навантаження двигуна перевищує свою номінальну потужність $P_{gi} > P_{r,gi} \leq a_{max,gi} P_{r,gi}$ і генератор може бути перегрітим. Генератор виробляє надмірний струм і ризик короткого замикання збільшується. Це може збільшити схильність до коротких замикань надалі. Якщо двигун перевантажений, то ризик збільшення механічних дефектів може також очікуватися надалі;
- Відмова двигуна: хоча, зупинка двигуна може бути передбачене (спрацювання тривоги), можуть з'явитися деякі ушкодження;
- Функціональність PMS і робота енергетичної системи: коли розташовувана потужність стане низкою, PMS запустить інші генератори або обмежить навантаження споживачів. Перевантаження може відбутися, якщо функціональні можливості PMS не скоординовані до припустимого рівня або через помилки в межах PMS.

2. Зупинка двигуна й розчіплювання генераторної установки. Загальні типи помилок, які зупиняють генераторний агрегат, з відносно низькою ймовірністю [3,5]:

- Відмова паливної системи: забиті паливні лінії, відмова паливного насоса, вода в паливі, і т.д;
- Механічні відмови: втрата масла або тиску води, високої охолоджувальної температури;
- Відмова системи керування: ознака низького тиску мастила, брудні масляні датчики, надлишковий тиск у картері двигуна, або втрата сигналу уведення / виводу;
- Людський фактор: звичайно відбувається в системі, у синхронізації генераторних агрегатів і розподілі навантаження, коли двигуни можуть бути перекинуті зворотним захистом по потужності.

Важливу функцію PMS, що збільшує ймовірність запобігання аварійного відключення електроживлення, називають попередження тривоги. Ця функція використовується, щоб запобігти раптовій зупинці двигуна. Попередження тривоги повинне автоматично почати запускати наступний доступний генератор, якщо будь-які умови, які приведуть до зупинки двигуна, будуть біля межі відключення.

3. Динаміка аварійного відключення електроживлення. У випадку відключення генератора, головна проблема - аспект часу. Через швидку динаміку аварійного відключення електроживлення, система керування повинна спрацювати в обмежений час. Події, що приводять до аварійного відключення електроживлення, протікають дуже швидко, як показано на рис.1:

• Крок 1: Коли включені кілька генераторів і відключається один, $N_f = 1$, це може призвести до дуже великого навантаження у включеному генераторі, що $k-1$ залишився, де випадкове навантаження в генераторі може бути в межах $P_{tran,gi}(k, N_f = 1) = 14P_{r,gi} \div 18P_{r,gi}$.

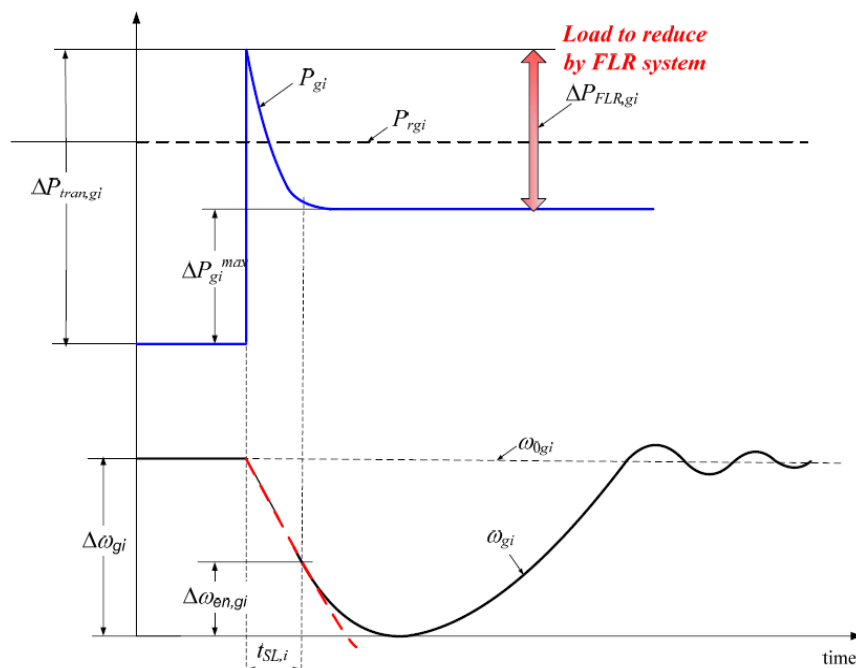


Рисунок 1 – Швидке зниження навантаження частиною прийнятого навантаження на двигун включеної генераторної установки

Тому що двигуни не можуть бути завантажені вище, ніж $P_{max,gi} = 1,1P_{r,gi} \div 1,15P_{r,gi}$, навантаження повинно бути зменшено перед зниженням частоти нижче межі зниження частоти;

• **Крок 2:** система захисту генератора розімкне вимикач, якщо частота понизиться, нижче межі зниження частоти. Через високий крутний момент синхронізації між паралельно включеними генераторами, це буде відбуватися для всіх паралельно включених генераторів в однаковий час.

Рисунок 1 показує навантаження після того, як один генератор відмовляє. Також показане зниження частоти й зменшення навантаження, і всі змінні визначені відповідно до рівнянь, визначеними нижче.

Після того, як навантаження на двигуні стає вище чим максимально припустиме навантаження, паливна рейка попадає в межу й ніяке збільшення крутного моменту двигуна не може бути досягнуто. Отже, система FLR буде знаходитися в ситуації, коли межа потужності буде пересічена. Таким чином, час для зменшення навантаження буде залежати головним чином від інерційності включених генераторних установок:

$$t_{SL,i} = \Delta\omega_{FLR,gi} \frac{2H_i}{\Delta P_{FLR,gi}} P_{r,gi}$$

де $\Delta\omega_{FLR,gi}$ - дозволене зниження частоти під час зменшення навантаження, $\Delta P_{FLR,gi}$ - навантаження, що буде зменшено FLR.

Часова межа для зменшення навантаження буде продовжена, якщо зменшене навантаження $\Delta P_{FLR,gi}$ буде малим. Навантаження, зменшене FLR, залежить від максимального випадкового навантаження, і визначено в такий спосіб:

$$\begin{aligned} \Delta P_{FLR,gi} &= P_{tran,gi}(k, N_f) - P_{gi} - \min(a_{max,g} P_{r,gi} - P_{gi}, \Delta P_{gi}) = \\ &= \Delta P_{tran,gi}(k, N_f) - \min(a_{max,g} P_{r,gi} - P_{gi}, \Delta P_{gi}) \end{aligned}$$

де максимальне випадкове навантаження $P_{tran,gi}(k, N_f)$ залежить від випадку, коли може включати різні комбінації із k включених генераторів й відмовленими генераторами N_f . Двигун може прийняти частину випадкового навантаження. Це визначено ΔP_{gi} і його максимальне значення визначене в рівнянні (1.8). Через тимчасову затримку двигуна частота падає до $\Delta\omega_{gi}(\Delta P_{gi})$.

Рисунок 2 показує результати моделювання з 2 генераторними установками, із $H_1 = H_2 = 2,5$ секунди у випадку а) на рис. 2 передпомилка: $P_{g1} = 0,8P_{r,g1}$, $P_{g2} = 0,8P_{r,g2}$, і $\Delta P_{FLR,g1} = 0,8P_{r,g2}$. У випадку б) на рис. 2 перед помилка: $P_{g1} = 0,57P_{r,g1}$, $P_{g2} = 0,57P_{r,g2}$, і $\Delta P_{FLR,g1} = 0,57P_{r,g2}$. Тоді, t_{SL} набагато довше, ніж у випадку а).

Однак, це також повинне бути коли генераторна установка працює близько навантаження двигуна в 110% $P_{r,gi}$ і через затримку реакції двигуна.

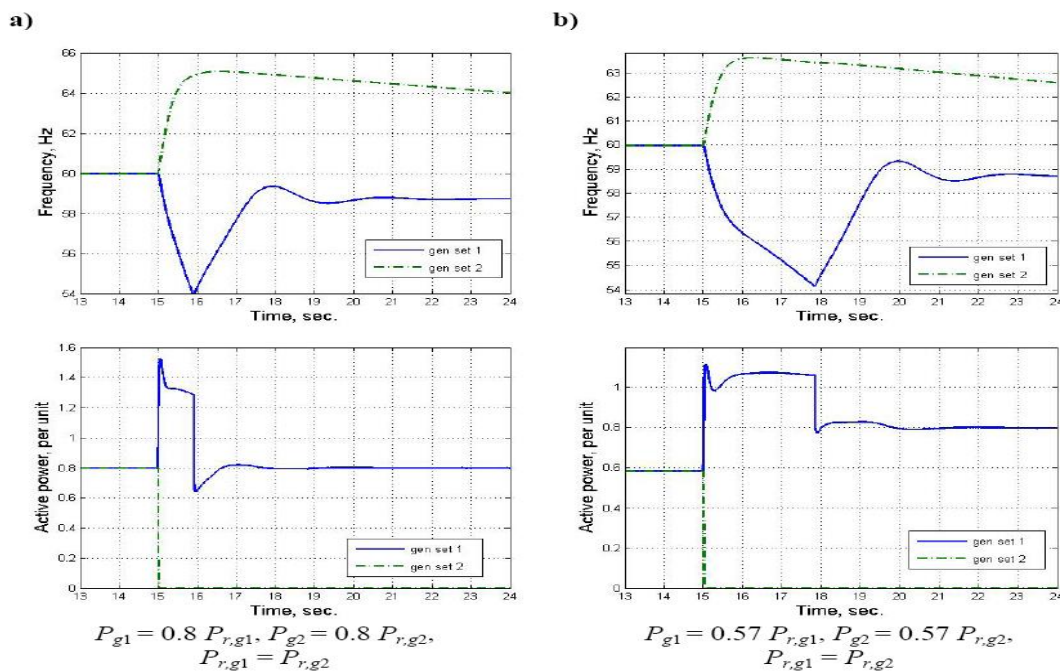


Рисунок 2 – Падіння частоти, коли генераторна установка 2 відключена від мережі на $t = 15$ секунд, постійна часу H_i при цьому складає 2 секунди; встановлені навантажувальні потужності відповідно складають –

a) $P_{g1} = 0,8P_{r,g1}, P_{g2} = 0,8P_{r,g2}$

b) $P_{g1} = 0,57P_{r,g1}, P_{g2} = 0,57P_{r,g2}$

Дозволене зниження частоти залежить від межі зниження частоти $\Delta\omega_{gi}^{max}$ за правилами класу й додаткове зниження частоти, що відбувається, коли двигун бере частину навантаження системи ΔP_{gi} , як визначено:

$$\Delta\omega_{FLR,gi} = \Delta\omega_{gi}^{max} - \Delta\omega_{en,gi}(\Delta P_{gi}).$$

Збільшення постійної інерційного часу H_i , забезпечить підвищення проти зниженої частоти вимикача генератора й більшого опору аварійному відключенню електроживлення через різке збільшення навантаження. Головний недолік збільшеної інерції на генераторних установках полягає в тому, що час, відновлення від перехідного процесу також збільшиться через збільшення накопиченої енергії в обертових.

Висновки

1. Надійна робота суднової електроенергетичної системи в значній мірі залежить від правильно налаштованої системи керування потужності PMS та її підсистеми обмеження частоти в мережі FLR.
2. Робота системи керування потужністю дизель-генераторних агрегатів залежить великою мірою від більшості постійних параметрів, таких як: конфігурація енергетичної системи; клас судна; встановлена потужність генераторних установок; момент інерції складових системи; характеру споживаного навантаження.
3. У випадках, коли судно має дві або більше ізольовані підсистеми, у кожній необхідно мати окрему PMS та FLR.

Список використаних джерел

1. Kroneberg, André Innovation in shipping by using scenarios.
2. Smogeli, Øyvind Notland Control of Marine Propellers. From Normal to Extreme Conditions.
3. Кардаш В. П. Повышение эффективности работы судовых устройств / В. П. Кардаш, С. А. Ханмамедов // Судовые энергетические установки: науч. – техн. сб. – 2007. – Вып. 20. – Одесса : ОНМА. – С. 5.
4. Новиков Л. А. Основные направления создания малотоксичных транспортных двигателей. // Двигателестроение – 2002. – № 3. – С. 32-34.
5. Повышение надежности работы среднеоборотных дизелей на режимах экстренного пуска Заблоцкий Ю. В., Мацкевич Д. В., Сагин С. В. Одесская национальная морская академия (Украина) с. 62-64.
6. Кривошёков В. Е. О проектах новых отраслевых стандартов по надёжности судовых технических средств в эксплуатации // Сб. докл. Всеукр. науч.-практ. семинара «Судоремонт в Украине – перспективы развития» (6-7 декабря 2001г., г. Николаев). – Николаев: ЮАПК Мипромполитики Украины, 2002. – С. 79 - 90.

УДК 621.3

*Новогрецький С.М., к.т.н., доц., Костюченко В.І., к.т.н., доц., Барішник Ю.М.
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

ДАТЧИК АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ТРИФАЗНОЇ МЕРЕЖІ ІЗ МОЖЛИВІСТЮ ВІДСЛІДКУВАТИ НИЗЬКОЧАСТОТНІ КОЛИВАННЯ

В суднових та автономних дизельних електростанціях є проблема із обмінними коливаннями активної потужності між паралельно працюючими генераторами. За рахунок нерівномірності обертального руху валу дизель-генераторних агрегатів виникає коливання частоти, що при несинхронній роботі поршнів паралельно працюючих агрегатів призводить до виникнення обмінної потужності [1-5]. Обмінна потужність не йде у навантаження, має перемінний характер із частотою 4...20 Гц та здійснює додаткове періодичне навантаження генераторів, що може за величиною бути співрозмірною із номінальною потужністю та зменшує сумарну потужність, яка може бути передана від генераторів до навантаження. Вимоги класифікаційних товариств і міжнародні стандарти не містять допустимих норм, що обмежують рівень таких коливань, але при виконанні монтажних робіт рівень обов'язково контролюється та зменшується шляхом налаштування автоматичних систем і конструктивних змін. Задача обмеження амплітуди обмінних коливань потужності дозволяє збільшити стійкість роботи електростанції та підвищити ефективність її роботи [5-8].

Існують рішення щодо зменшення нерівномірності ходу дизельного привідного двигуна за рахунок використання маховика зі збільшеним або залежним від кута повороту моментом інерції [2]. Це дозволяє запасати енергію в махових масах при поштовху поршня в момент загоряння палива та віддавати енергію в проміжках між цими поштовхами, тим самим зменшуючи коливання частоти та потужності. Інший підхід пов'язаний із збільшенням статизму регульовальної характеристики автоматичного регулятора частоти [7, 8]. Як показало моделювання, найбільший вклад в міжагрегатні коливання активної потужності вносить саме зона нечутливості регуляторів частоти, а зменшення його впливу можливо досягти за рахунок збільшення нахилу його характеристики регулювання. При зміні навантаження в цьому випадку частота в мережі має регулюватись за методом квазістатичних характеристик для підтримки її на певному рівні із заданою точністю. Ще одним рішенням щодо зменшення амплітуди обмінних коливань є використання масивної демпферної обмотки в синхронному

генераторі або регулювання збудження по куту вильоту ротора та відхиленню частоти. Частина демпферної обмотки, зображаючи вектор ЕРС якої перпендикулярний зображає вектору напруги статора в даному режимі роботи, буде викликати максимальний демпферний момент при малих коливаннях ротору. Але це призведе до зменшення надперехідного опору генератора та збільшення струму короткого замикання. В синхронних генераторах одноосового збудження регулювання струму збудження по куту вильоту ротора та відхиленню частоти ефективно лише при малих кутах навантаження. Використання синхронних генераторів подовжньо-поперечного збудження дозволяє забезпечити максимальне демпфування за рахунок регулювання збудження в усьому діапазоні зміни робочих значень кута навантаження, але, як і при одноосовому збудженні, його дія обмежена сталою часу обмотки збудження [3].

Як бачимо, є достатньо засобів зменшення обмінних коливань активної потужності, але всі вони мають частковий ефект. Нашим напрямом наукового дослідження є повне рішення поставленої задачі за рахунок нової конструкції генератора та системи збудження, але для експериментального дослідження окрім двох дизель-генераторів малої потужності важливо мати датчик миттєвого значення активної потужності для аналізу впливу різних факторів на інтенсивність та частоту обмінних коливань.

Мета роботи – визначення принципу побудови датчика миттєвого значення активної потужності, що передається по трифазній мережі, із можливістю відслідковувати низькочастотні коливання.

Теоретичне обґрунтування досліджень та результати роботи

Нормально працюючий двигун внутрішнього згоряння має періодичний обертовий момент, середнє значення якого врівноважується моментом навантаження генератора. Обертаючий момент розкладається в нескінченний ряд гармонійних складових. Найбільша амплітуда буде у гармоніки, кутова частота якої $\omega_{\mu} = 2\pi f_{\mu}$. Циклічна частота при обертанні двигуна визначається числом спалахів палива циліндра zn протягом однієї секунди, f_{μ} , Гц,

$$f_u = zn/60 = imn/60.$$

Величина z дорівнює числу циліндрів i з урахуванням кількості тактів машини m . При двохтактному двигуні, у якого за один оберт відбувається один спалах палива, $m = 1$ та величина $z = i$, а при чотирьохтактному двигуні, у якого спалах відбувається за два оберти, $m = 0,5$ і величина $z = 0,5i$. Наприклад, для шестициліндрового чотирьохтактного двигуна із частотою обертання 750 об./хв. маємо $f_{\mu} = 37,5$ Гц.

Частота власних коливань дизель-генераторного агрегату, якщо розглядати його як одномасову систему, матиме частоту вільних коливань, яка будуть склади від декількох одиниць до декількох десятків герц, тому при певному співвідношенні параметрів можливі резонансні явища, викликані вимушеними коливаннями за рахунок нерівномірності ходу дизеля. Можливі випадки, коли вприск палива по циліндрам нерівномірний, що сприятиме появі вимушених коливань значно нижче за f_u та ближче до частоти власних коливань агрегату.

Зазначені процеси потребують вивчення та фіксації, що можливо при спостереганні зміни миттєвої активної потужності генераторів. Для досягнення поставленої цілі пропонується використати інтегральний перемножувач аналогових сигналів на базі мікросхеми K5252PC2. Функціональна схема пристрою та підключення до генераторів, які поєднані трифазною системою живлення без нульового проводу представлені на рис.1.

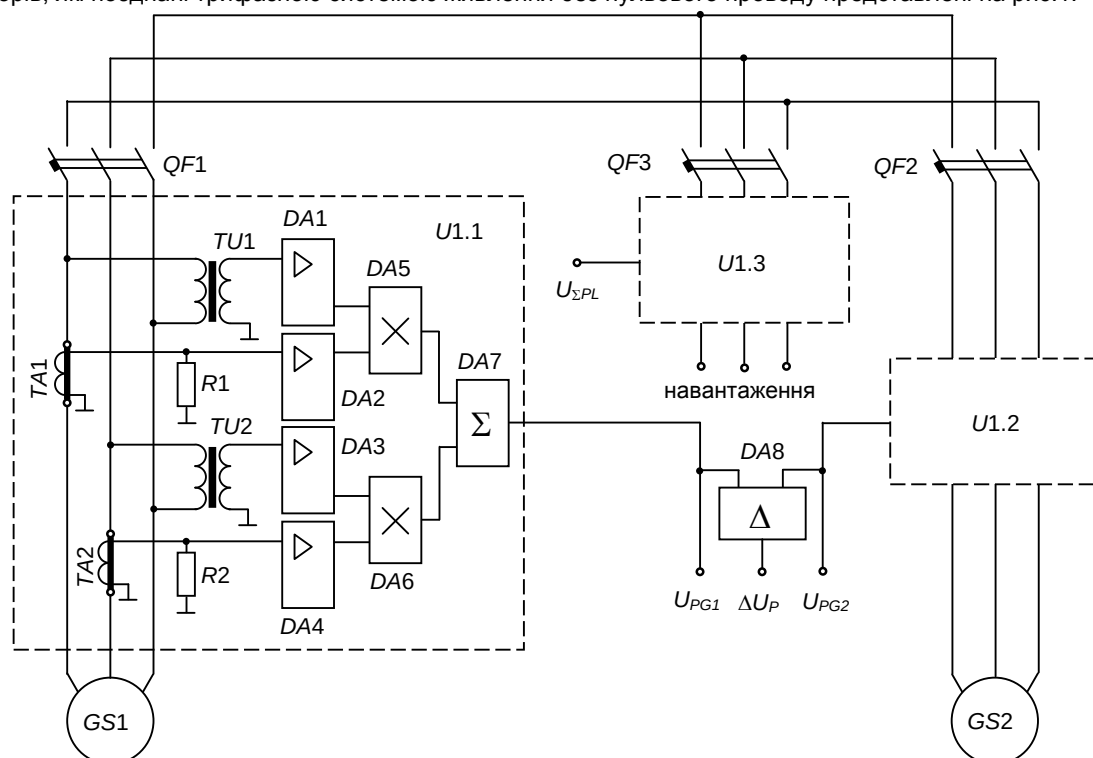


Рисунок 1 – Функціональна схема принципу вимірювання миттєвої активної потужності

Для узгодження сигналів використані трансформатори струму TA з шунтуючими опорами R та трансформатори напруги TU . Далі для генератора $GS1$ в блоці $U1.1$ сигнали по струмам та напругам підсилюються відповідними інтегральними схемами $DA1...DA4$ та подаються на перемножувачі $DA5$ та $DA6$. Після сумування вихідних сигналів отримуємо напругу U_{PG1} , що у відповідності до метода двох ватметрів відповідатиме миттєвому значенню активної потужності p_1 :

$$\begin{aligned}
 p_1 &= u_{ac} i_a + u_{bc} i_b = u_a i_a + u_b i_b + u_c (-i_a - i_b) = u_a i_a + u_b i_b + u_c i_c; \\
 \text{якщо } u_{ma} &= u_{mb} = u_{mc} = u_m \text{ маємо} \\
 p_1 &= u_{ma} i_{ma} \sin(\omega t) \sin(\omega t - \varphi_a) + u_{mb} i_{mb} \sin(\omega t - 120) \sin(\omega t - 120 - \varphi_b) + \\
 &+ u_{mc} i_{mc} \sin(\omega t - 240) \sin(\omega t - 240 - \varphi_c) = \frac{u_m i_{ma}}{2} (\cos(\varphi_a) - \cos(2\omega t - \varphi_a)) + \\
 &+ \frac{u_m i_{mb}}{2} (\cos(\varphi_b) - \cos(2\omega t - 240 - \varphi_b)) + \frac{u_m i_{mc}}{2} (\cos(\varphi_c) - \cos(2\omega t - 120 - \varphi_c)) = \\
 &= \frac{u_m i_{ma}}{2} \cos(\varphi_a) + \frac{u_m i_{mb}}{2} \cos(\varphi_b) + \frac{u_m i_{mc}}{2} \cos(\varphi_c); \\
 \frac{u_m i_{ma}}{2} \cos(2\omega t - \varphi_a) &+ \frac{u_m i_{mb}}{2} \cos(2\omega t - 240 - \varphi_b) + \frac{u_m i_{mc}}{2} \cos(2\omega t - 120 - \varphi_c) = \\
 &= \frac{u_m i_{ma}}{2} \cos(\omega t) \cos(\omega t - \varphi_a) - \frac{u_m i_{ma}}{2} \sin(\omega t) \sin(\omega t - \varphi_a) + \\
 &+ \frac{u_m i_{mb}}{2} \cos(\omega t) \cos(\omega t - 240 - \varphi_b) - \frac{u_m i_{mb}}{2} \sin(\omega t) \sin(\omega t - 240 - \varphi_b) + \\
 &+ \frac{u_m i_{mc}}{2} \cos(\omega t) \cos(\omega t - 120 - \varphi_c) - \frac{u_m i_{mc}}{2} \sin(\omega t) \sin(\omega t - 120 - \varphi_c) = \\
 &= \frac{u_m}{2} \cos(\omega t) (i_{ma} \cos(\omega t - \varphi_a) + i_{mb} \cos(\omega t - 240 - \varphi_b) + i_{mc} \cos(\omega t - 120 - \varphi_c)) - \\
 &- \frac{u_m}{2} \sin(\omega t) (i_{ma} \sin(\omega t - \varphi_a) + i_{mb} \sin(\omega t - 240 - \varphi_b) + i_{mc} \sin(\omega t - 120 - \varphi_c)) = 0,
 \end{aligned}$$

де p_1 – миттєве значення активної потужності, що генерується генератором $GS1$; i_a, i_b, i_c – миттєві значення струмів відповідних фаз; u_a, u_b, u_c – миттєві значення напруг відповідних фаз; u_{ac}, u_{bc} – миттєві значення лінійних напруг між відповідними фазами; u_{ma}, u_{mb}, u_{mc} – амплітудні значення напруг відповідних фаз; i_{ma}, i_{mb}, i_{mc} – амплітудні значення струмів відповідних фаз; $\varphi_a, \varphi_b, \varphi_c$ – значення кута зсуву між напругою та струмом у відповідній фазі.

Як можна бачити з математичних викладок, при симетричній системі трифазної напруги високочастотна складова потужності дорівнює нулеві, тому в додатковій фільтрації сигналу від високочастотної складової не має необхідності. Аналогічним чином отримується в блоці $U1.2$ величина напруги U_{PG2} , що пропорційна миттєвому значенню активної потужності, яка генерується генератором $GS2$. Різниця між U_{PG1} та U_{PG2} дозволяє отримати напругу ΔU_P , перемінна складова якої буде пропорційна обмінним коливанням потужності між генераторами.

В блоці $U1.3$ формується напруга U_{SPL} , величина якої буде пропорційна активній потужності навантаження. Цей сигнал може бути використаний для контролю виникнення синхронних коливань агрегатів та їх врахування при вивченні обмінних коливань.

Таким чином, функціональна схема, представлена на рис.1 дозволить експериментально вивчити явище обмінних коливань при паралельній роботі дизель-генераторних агрегатів, а також може бути використана для організації систем автоматики, побудованим на вимірюванні рівня та напрямку активної потужності, а також на виявленні коливальних процесів. Крім того, датчик можна використовувати для сигналізації зростання обмінних коливань та попередження щодо можливих несправностей у паливній системі або автоматичному регуляторі частоти одного з агрегатів.

Висновки. 1. Для вивчення обмінних коливань активної потужності дизель-генераторних агрегатів запропоновано використовувати датчик миттєвого значення, реалізований на аналоговій інтегральній мікросхемі перемноження вхідних напруг. 2. Три датчики пропонованої конструкції дозволять експериментально дослідити явище обмінних коливань генераторних агрегатів. 3. Датчики мають високу швидкодію та у запропонованому вигляді можуть бути використані в трифазній мережі без нульового проводу для вимірювань активної потужності та реалізації систем автоматики.

Список використаних джерел

1. Слинько Г.І. Дослідження впливу пропусків запалювання на нерівномірність обертання колінчастого валу бензинового двигуна / Г.І. Слинько, Н.Є. Рябошапка, Р.Ф. Сухонос, Н.О. Євсєєва, О.Г. Солдатченков // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. Науковий журнал. – м. Запоріжжя, НУ „Запорізька політехніка”, 2024. – Вип. 1/2024. – С. 82-88.

2. Ломакін В.О. Зменшення нерівномірності ходу двигуна внутрішнього згоряння удосконаленням конструкції маховика. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 Двигуни енергетичні установки. На правах рукопису. – м. Київ, НТУ, 2018 – 21 с.

3. Mobarra, Mohammadjavad, Miloud Rezkallah, and Adrian Ilinca. (2022). Variable Speed Diesel Generators: Performance and Characteristic Comparison. // *Energies* 2022, 15 (2), 592. <https://doi.org/10.3390/en15020592>

4. Sakamoto, Orie. (2016). An example of a diesel generator model with fluctuating engine torque for transient analysis using XTPA. // *Journal of International Council on Electrical Engineering*. Vol. 6, No. 1, 2016, pp. 31-35. <https://dx.doi.org/10.1080/22348972.2016.1139775>.

5. Савенко О. Є. Теоретичне та експериментальне дослідження роботи багатогенераторної суднової електроенергетичної системи. / О.Є. Савенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – Вип. 3. – С. 58-62.

6. Савенко О. Є. Оптимізація роботи багато генераторної суднової електроенергетичної установки. / О.Є. Савенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – Вип. 1. – С. 131-134.

7. Савенко О. Є. Дослідження суднової електроенергетичної системи порому «Сйськ» / О. Є. Савенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 1. – С. 85-89.

8. Савенко О. Є. Оптимізація роботи суднової електростанції з метою підвищення якості електроенергії / О.Є. Савенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 6. – С. 74-78.

УДК 621.3

Новогрецький С.М., к.т.н., доц., Меліхов Д.С.

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

СПРОЩЕНА СХЕМА ЗАМІЩЕННЯ ТА МАГНІТНИЙ РОЗРАХУНОК РЕАКТОРА ІЗ ВРАХУВАННЯМ НЕЛІНІЙНОСТІ КРИВОЇ НАМАГНІЧУВАННЯ

Електромагнітні статичні перетворювачі часто використовуються в системах автоматичного керування, що передбачає зміни в часі їх параметрів за рахунок зміни характеристик окремих частин магнітопроводу. Як приклад, можна привести трифазний реактор із поперечним підмагнічуванням ділянок магнітопроводу постійним магнітним полем [1, 2]. Для правильного проектування та розуміння впливу електротехнічного пристрою на параметри системи, в якій він буде працювати, важливо мати достатньо простий та ефективний підхід до розрахунку магнітної системи в різних режимах збудження в залежності від геометричних співвідношень. Це, наприклад, може дозволити визначити гармонійний склад струму реактора та провести оптимізацію геометричних показників.

Мета роботи – визначити загальний підхід щодо формування спрощеної математичної моделі магнітного кола складної конфігурації для розрахунку кривих намагнічуючої сили та потоку.

Теоретичне обґрунтування досліджень та результати роботи

Візьмемо за основу трифазний керований реактор радіальної конструкції з поперечним підмагнічуванням ярма. Магнітне коло представлене на рис.1. Система симетрична, обмоткове вікно представляє собою ромб із стороною l_c . Перетин магнітопроводу має висоту h_c та ширину b_c . Між секціями технологічний повітряний зазор δ_1 , зовнішнє ярмо має два стикові зазори δ_2 для забезпечення роз'ємності конструкції та монтажу обмотки. На рис. 2, (а) представлена схема заміщення, в якій кожна однорідна за магнітними властивостями ділянка заміщується магнітною провідністю [3-6]. При цьому нехтуємо потоками розсіювання в обмотковому вікні та вважаємо напруженість магнітного поля в ділянці постійною величиною. В першому наближенні це припустиме.

Магнітні провідності ділянок магнітопроводу схеми заміщення визначаються наступними загальновідомими виразами:

$$Y_{1xy} = \frac{\mu(B_{1xy})\mu_0 b_c h_c k_c}{2\pi/3 b_c} = l_c \frac{\mu(B_{1xy})\mu_0 \alpha k_c}{2\pi/3};$$

$$Y_{2\delta} = \frac{\mu_0 l_c h_c}{4\delta_1} = l_c \frac{\mu_0 \alpha}{4\gamma};$$

$$Y_{3x} = \frac{2\mu(B_{3x})\mu_0 b_c h_c k_c}{l_c} = l_c 2\mu(B_{3x})\mu_0 \alpha \beta k_c;$$

$$Y_{4x} = \frac{2\mu(B_{4x})\mu_0 b_c h_c k_c}{l_c} = l_c 2\mu(B_{4x})\mu_0 \alpha \beta k_c;$$

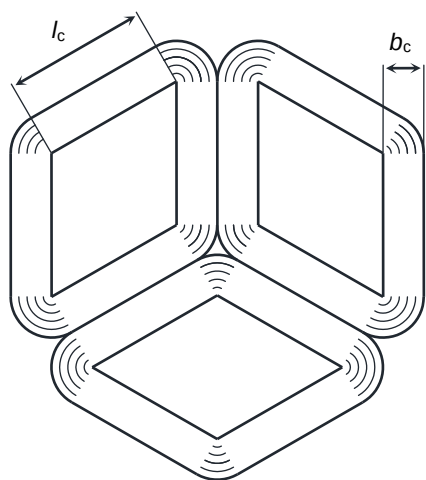


Рисунок 1 – Магнітопровід трифазного реактора радіальної конструкції

$$Y_{5x} = \frac{2\mu(B_{5x})\mu_0 b_c h_c k_c}{l_c} = l_c 2\mu(B_{5x})\mu_0 \alpha \beta k_c; Y_{6x} = \frac{2\mu(B_{6x})\mu_0 b_c h_c k_c}{l_c} = l_c 2\mu(B_{6x})\mu_0 \alpha \beta k_c;$$

$$Y_{7x} = \frac{\mu_0 b_c h_c}{4\delta_2} = l_c \frac{\mu_0 \gamma \alpha}{4\tau}; Y_{8xy} = \frac{\mu(B_{8xy})\mu_0 b_c h_c k_c}{4\pi/3 b_c} = l_c \frac{\mu(B_{8xy})\mu_0 \alpha}{4\pi/3} k_c; Y_{9xy} = \frac{\mu(B_{9xy\Sigma})\mu_0 b_c h_c k_c}{4l_c} = l_c \mu(B_{9xy\Sigma})\mu_0 \alpha \beta k_c / 4;$$

$$\alpha = \frac{h_c}{l_c}; \gamma = \frac{\delta_1}{l_c}; \beta = \frac{b_c}{l_c}; \tau = \frac{\delta_2}{l_c}; B_{9xy\Sigma} = \sqrt{(B_{9xy})^2 + (B_n)^2},$$

де $\alpha, \beta, \gamma, \tau$ – безрозмірні коефіцієнти, які характеризують геометрію магнітопроводу; B_n – величина індукції підмагнічування; B_{jxy} та B_{jx} – величина магнітної індукції в j -тій частині магнітопроводу, що відноситься до фази x або фаз x та y ; μ_0 – магнітна стала; $\mu(B)$ – абсолютна магнітна проникність сталі магнітопроводу при магнітній індукції B ; k_c – коефіцієнт заповнення сталі.

Для подальшого аналізу спочатку будемо граф нашого магнітного кола (показаний на рис. 2, (б)), нумеруємо вузли та гілки (на рис.2, (б) числа в дужках), задаємося позитивним напрямом в гілках (стрілки на рис.2, (б)). Далі формуємо матрицю з'єднань A , що складається з 17 рядків (на один менший від кількості вузлів) та 27 стовпців (кількість гілок). Нумерація рядків співпадає із нумерацією вузлів, а нумерація стовпців із нумерацією гілок. Правила заповнення загальноприйняті: якщо позитивний напрям гілки m прямує до вузла n , в комірку mn матриці записуємо +1; якщо позитивний напрям гілки m прямує від вузла n , в комірку mn матриці записуємо -1; якщо між гілкою m та вузлом n не має безпосереднього поєднання, в комірку mn матриці записуємо 0. Після того формуємо діагональну матрицю провідностей Y , розмірністю 27×27 (за кількістю гілок). Усім коміркам, для яких номер рядка не співпадає із номером стовпчика, присвоюємо значення 0. Для комірок із номером mm присвоюємо значення провідності гілки m . Останнім формуємо стовпець джерел енергії F , в якому кількість строк дорівнює кількості гілок, а в комірці за номером m розташовується значення МРС (магніторухливіна сила) джерела живлення гілки m зі знаком плюс, якщо напрям гілки співпадає із напрямом МРС, та зі знаком мінус, якщо напрями протилежні. Якщо гілка не має джерел живлення, комірці за її номером присвоюється нуль. Після формування відповідних матриць можна знайти вектор магнітних потенціалів всіх вузлів відносно вузла під номером 18, який ми прийняли базисним (нульовим):

$$U = -(AYA^{-1})^{-1}AYF.$$

Після визначення магнітних потенціалів розраховуємо магнітний потік в гілці, як добуток провідності цієї гілки на різницю потенціалів вузлів, які поєднує ця гілка, з урахуванням МРС джерела живлення, що розташована в цій гілці, у відповідності до закону Ома для ділянки магнітного кола. Наприклад, для гілки (11) маємо потік:

$$\Phi_{11} = (U_9 - U_{15} + F_a)Y_{5a}.$$

Далі розраховуємо індукцію, як відношення потоку до площі поперечного перетину ділянки магнітного кола. Наприклад, для гілки (11):

$$B_{11} = \Phi_{11}/(b_c h_c) = \Phi_{11}/(\alpha \beta l_c^2) = (U_9 - U_{15} + F_a)Y_{5a}/(\alpha \beta l_c^2).$$

Після отримання індукції в усіх гілках, уточнюємо значення провідностей і знов повторюємо розрахунки. Методом поступових ітерацій досягаємо відмінності між результатами в заданих межах і зупиняємо розрахунок. Вручну подібний розрахунок був би не можливим, але за допомогою спеціалізованих програмних середовищ (наприклад, MathCAD) задача в такій постановці вирішується достатньо швидко та із заданою точністю.

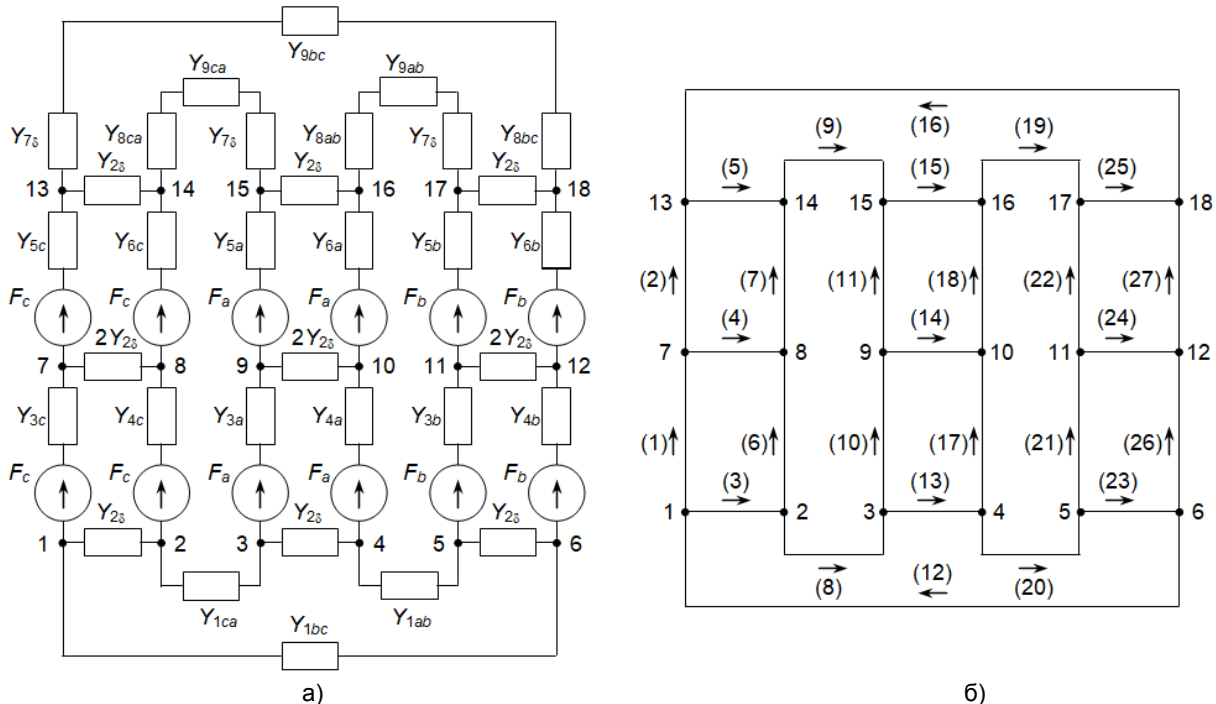


Рисунок 2 – Схема заміщення магнітного кола керованого реактора

Представлений порядок розрахунку можна дещо спростити та зробити його більш прийнятним для подальшого використання. Легко помітити, що при використанні безрозмірних коефіцієнтів α , β , γ , τ всі провідності мають множник l_c , який є єдиною розмірною змінною в формулах. Якщо розділити матрицю Y на l_c отримаємо матрицю провідностей на одиницю ширини обмоткового вікна $Y_n = Y / l_c$. Якщо таким самим чином розділити стовпець джерел енергії F на l_c , отримаємо стовпець питомих значень $F_n = F / l_c$, що будуть вимірюватись в одиницях напруженості магнітного поля (А/м). В результаті питомі значення магнітних потенціалів вузлів по відношенню до басиноного:

$$U_n = -(AY_n A^{-t})^{-1} AY_n F_n.$$

В цьому випадку індукція визначається лише питомими величинами та безрозмірними коефіцієнтами. Якщо повернутись до приклада визначення індукції в гілці (11), маємо:

$$B_{11} = (U_{9n} - U_{15n} + F_{an}) Y_{5an} / (\alpha \beta).$$

Такий підхід дозволяє задавати питомих значення MPC (магніторушійної сили) фазної котушки відносно ширини обмоткового вікна та використовувати безрозмірні коефіцієнти. Це спрощує геометричну оптимізацію реактора за масовими або вартісними критеріями, так як заздалегідь нам невідома намагнічуюча сила обмотки, яка залежить від лінійних розмірів магнітного кола.

Висновки. 1. При формуванні спрощеної схеми заміщення магнітних кіл складної конфігурації без врахування потоків розсіювання коло поділяється на ділянки однакового перетину, які заміщуються відповідними зосередженими магнітними провідностями. 2. Розрахунок магнітних кіл при заданих значеннях MPC котушки пропонується виконувати за методом вузлових потенціалів, що дозволяє отримати простий алгоритм розрахунку із врахуванням залежності провідності ділянок магнітопроводу від магнітної індукції в них. 3. Пропонується розрахунки проводити в питомих величинах по відношенню до характерного лінійного розміру. В прикладі таким розміром була довжина сторони ромбу (ширина) обмоткового вікна. Це дозволяє спростити подальшу параметричну оптимізацію магнітопроводу та привести результати до характерного для магнітного кола розміру.

Список використаних джерел

1. Новогорецький С.Н. Гармонический состав тока трехфазного при поперечном подмагничивании ярма. / С.Н. Новогорецький, В.И. Подымака, А.А. Прудников // Вчені записки Таврійського Національного університету імені В.І. Вернадського.–Київ: ТНУ, 2018.–Том 29 (68), № 3, Частина 1.– С. 48-53.
2. 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.
3. Міліх В. І. Розрахунки магнітних полів в електротехнічних пристроях: навчальний посібник/ В. І. Міліх. Харків: ФОП Панов А. М., 2021. 136 с.
4. Карпов Ю. О., Ведміцький Ю. Г., Кухарчук В. В. Теоретичні основи електротехніки. Електромагнітне поле: Підручник. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. – 407с.
5. Міліх, Володимир Іванович. Електромагнітні поля, параметри та процеси в електротехнічних пристроях: підруч. для студентів і аспірантів електротехн. профілю / В. І. Міліх ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". — Харків : НТУ "ХПІ", 2020. – 392 с.
6. Маляр В.С. Теоретичні основи електротехніки. Електричні кола: навч. посібник/ В.С. Маляр. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 312 с.

УДК 629.12:629.56

Волянський Ю. С., Яценко В. С., Ковальчук М. С., Волянська Я. Б., д.т.н., проф., Волянський С. М., к.т.н., доц.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ПОБУДОВИ ЕЛЕКТРОРУШІВ ТА ІНШИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ МАЛИХ АВТОНОМНИХ ПЛАВАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Для малих безпілотних морських суден (МБМС) найчастіше використовують електромеханічні системи різного типу, які забезпечують керування рухом судна, його рушійними пристроями, застосовуються для інших допоміжних механізмів судна. З аналізу літературних джерел встановлено, що подібні електромеханічні системи ефективні в системах стабілізації руху суден, наприклад, у системах автопілоту. При технічній реалізації автопілотів і електрорушіїв використовують різного типу контролери і до цього часу практично відсутні апробовані рішення щодо алгоритмів керування ними. Основні принципи створення ефективних математичних моделей електромеханічних систем, побудованих на основі електричних двигунів, недостатньо розроблені.

Найчастіше ця побудова проходить за допомогою спрощення математичного опису двигунів і використанні при моделюванні структурних схем. Можливості використання та обрання асинхронних трифазних електродвигунів, призначених для застосування у різних механізмах і системах електроприводу морських суден і, зокрема, у електрорушійних невеликих безпілотних плавальних апаратів в повній мірі ще не реалізовані. Простим

рішенням регулювання швидкості для таких двигунів є можливість здійснювати це за допомогою керованого силового перетворювача при постійній частоті джерела живлення. Необхідно навести послідовність побудови моделі електромеханічної системи, яка регулює швидкість асинхронного двигуна. При цьому модель повинна враховувати нелінійні залежності двигуна (формула Клоса), «вентиляторне» навантаження та нелінійні елементи типу «обмеження» системи регулювання.

Метою роботи є пошук нетрадиційних шляхів модернізації асинхронних трифазних електродвигунів, призначених для застосування у електрорушійних малих автономних плавальних апаратів.

Дослідження автономних надводних морських суден привернуло широку увагу суднобудівної галузі завдяки універсальності застосувань таких суден у морських дослідженнях, у моніторингу навколишнього середовища, океану, при порятунку і транспортуванні, розмінуванні тощо [1–4]. Управління рулем (стерном) та рушіями автономного судна є основою та ядром сучасної автономної навігації, безпеки мореплавання, загальної ефективності експлуатації.

Найчастіше, завдання автоматичного керування морськими суднами та ведення судна за маршрутом вирішуються спеціальними бортовими обчислювально-керуючими системами і комплексами (*Track Control Systems – TCS*). Їх завданням є компенсація зносу судна – керуючи, у необхідному напрямку, зміною його курсу та боковим відхиленням від заданого шляху. Загалом, комплекс керуючого (інформаційного, програмного, апаратного) обладнання, що входить у систему стабілізації курсу (*Heading Control System – HCS*) виконує функції автопілотування судна. У більшості випадків, сучасний автопілот:

а) автоматично утримує судно на заданому курсі із точністю, при якій середнє значення курсу може відрізнитися від заданого курсу лише на заздалегідь визначений кут та при тій швидкості руху, що забезпечує стійку керованість судном;

б) забезпечує амплітуду ризикання, що не перевищує допустиму при порівнянні з ручним управлінням;

в) забезпечує утримання судна на заданому курсі з мінімальним навантаженням на рульовий пристрій [5–8].

Головними завданнями для автопілоту малого безпілотного морського судна є автоматичне утримання на заданому курсі судна, забезпечення переходу судна з курсу на курс із заданою кутковою швидкістю чи радіусом, узгоджене управління (сумісно із убудованою електронною картографічною навігаційно-інформаційною системою (ЕКНІС) рухом судна вздовж заданої траєкторії чи за зовнішніми цільовими вказівками) [1–3, 5–7].

Безумовно, на маневрені характеристики автономних суден малої водотонажності безпосередньо впливають не тільки якість алгоритмів роботи судового автопілоту [5–8], а і його електромеханічні системи – рульову та електрорушійну. В обох випадках, головними елементами цих систем є контролери (регулятори) і виконавчі механізми.

Сучасні електрорушії та інші додаткові електромеханічні комплекси і системи МБМС є автоматизованими і включають в себе велику кількість різноманітного електрообладнання, пристроїв, засобів автоматизації, систем зв'язку тощо. Основними виконавчими елементами у різноманітних комплексах і системах МБМС є електричні машини та засоби автоматизації різних механізмів плавального апарату. Загалом, саме вони, їх властивості та параметри, насамперед, визначають основний експлуатаційний процес МБМС та надійність виконання ним необхідних завдань. При цьому відомо [1–4, 7], що використання електромеханічних систем для керування МБМС є найбільш перспективними [1–3, 6] і ефективними у експлуатації і виробництві таких апаратів. Особливої уваги дослідників і проектувальників потребують МБМС невеликого дедвейту та потужності двигуна електрорушії до 20 кВт.

Враховуючи сучасний стан розвитку теорії електричних машин та теорії машин і механізмів, теорії автоматичного управління, систем управління електроприводами і середовищ імітаційного моделювання, найпростішим способом підвищення комплексної результуючої ефективності створеного судна є проведення попередніх «оптимізаційних» наукових досліджень. Метою таких досліджень є оптимізація за заданими критеріями техніко-експлуатаційних характеристик судна, зокрема – підвищення загальної ефективності, використаних у механізмах суден, електроприводів (наприклад, з безщітковими двигунами). Це здійснено на основі використання відомих загально-теоретичних (фізичних) принципів функціонування електричних двигунів одночасно з математичним моделюванням. Саме тому дослідження, які спрямовані на підвищення результуючої ефективності (енергетичної, якості процесів керування, експлуатаційної тощо) судових систем, механізмів і комплексів, що функціонують на основі безщіткових електродвигунів, є актуальними і відповідають напрямкам розвитку сучасного морського флоту [4, 6].

Висновки. Подальшим розвитком досліджень є використання у розглянутій вище системі спрощеного нечіткого контролера, який відрізняється симетричною побудовою процедур фазифікації. Проведення моделювання електрорушійної системи малого безпілотного судна при використанні такого нечіткого контролера. Вже проведені дослідження показали, що запропоноване рішення дозволяє ефективно проводити подальший синтез контролерів керування автопілотів, рушіїв тощо, дозволяє попередньо визначати енергетичні втрати процесів регулювання.

Список використаних джерел

1. Волянський, С. М. Тренди розвитку багатоцільових автономних плавальних апаратів подвійного призначення / С. М. Волянський, Я. Б. Волянська, О. А. Онищенко // Створення та модернізація озброєння і

військової техніки в сучасних умовах: матеріали XX наук.-техн. конф., ДНДІ ВС ОВТ, 03–04 вересня 2020 р. – Чернівці, 2020. – С. 52–54.

2. Волянська, Я. Б. Особливості прийняття конструктивних рішень при створенні пропульсивного комплексу автономного плавального апарата подвійного призначення / Я. Б. Волянська, С. М. Волянський, О. А. Онищенко // MPP&O – 2020: матеріали II Міжнар. наук.-практ. морської конференції каф. СЕУ і ТЕ Одеського національного морського університету, квітень 2020 р. – Одеса, 2020. – С. 119–123.

3. Волянська, Я. Б. Багатоцільові судна та застосування цивільних суден у допоміжному флоті: історія, сучасність, майбутнє / Я. Б. Волянська, Ю. М. Довіденко, О. М. Мазур, О. А. Онищенко // Technical sciences: history, the present time, the future, EU experience: materials of the International scientific and practical conference, Wloclawek, September 27–28, 2019. – Republic of Poland, 2019. – P. 150–154.

4. Canira B. B. Розвиток сучасних військово-морських сил Збройних Сил України: модульні концепції / В. В. Canira, О. А. Онищенко, О. М. Шуміло // Водний транспорт. – 2022. – № 2 (36). – С. 104–120.

5. Melnyk O. Application of fuzzy controllers in automatic ship motion control systems / O. Melnyk, O. Onishchenko, S. Onyshchenko // International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). – 2023. – Vol. 13. – №. 4. – P. 3948–3957.

6. Голіков В. А. Нечіткій регулятор автостерна малого безпілотного морського судна / Голіков В. А., Налева Г. В., Мазур О. М., Онищенко О. А. // Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт: матеріали наук.-техн. конф., НУ «ОМА», 20–21 березня 2024 р. – Одеса, 2024. – С. 11–15.

7. Налева Г. В. Спрощена математична модель асинхронного електродвигуна морських безпілотних суден / Г. В. Налева, О. А. Онищенко // Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика (CEIEA-2023): матеріали XIII Міжнар. наук.-техн. конф., НУ «ОМА», 22–23 листопада 2023 р. – Одеса, 2023. – С. 133–138.

8. Onishchenko O. Development of simplified mathematical models of asynchronous electric motor systems for multipurpose unmanned vessels / O. Onishchenko, O. Melnyk, S. Onyshchenko / The 1st Trunojoyo Madura International Conference of Science and echnology, 29 November 2023. – Indonesia. – P. 456–460.

УДК 621.3.048.8

Пальчиков О. О., к.т.н., Гетманцева В.С., Черніков М.О.

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

ОГЛЯД СТОХАСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЕЛЕКТРИЧНОГО РОЗРЯДУ В ОДНОРІДНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Можливість виникнення електричних розрядів в діелектриках обумовлює межі застосування електроізоляційних матеріалів. Вивчення і моделювання електричних повних і часткових розрядів актуальне через зростаючий попит на надійні та ефективні електроізоляційні системи, особливо в умовах підвищених напруг, які характерні для сучасних електроенергетичних і електротехнічних систем. Актуальність обумовлена також необхідністю підвищення енергоефективності та довговічності електричних машин і апаратів, де ключову роль відіграє здатність ізоляційних матеріалів їх обмоток протистояти пробоям. На рис. 1 приведені приклади електричних розрядів.

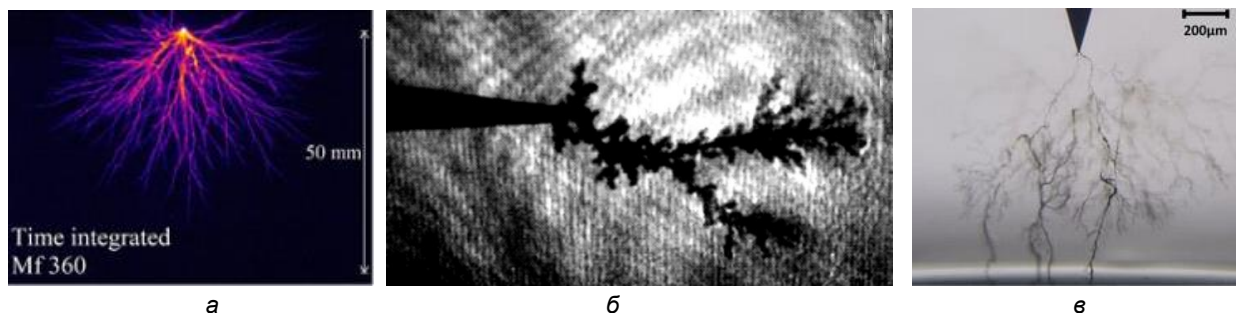


Рисунок 1 – Розвиток електричних розрядів:

а – в штучному повітрі [1]; б – в трансформаторній оливі [2]; в – в ізоляційному матеріалі на основі епоксидної смоли [3].

Канал електричного розряду має фрактальні властивості, тобто, крім елементів самоподібності, спостерігається дрібна метрична розмірність. Розмірність такого об'єкта можна оцінити методом «коробок» на підставі ступеневого закону [4]

$$D = \lim_{d \rightarrow 0} \frac{\log N}{\log(1/d)},$$

де d – розмір сторони «коробки» (квадрата для двовірних об'ємів, в яких відбувається досліджуване явище, куба для трьохірних об'ємів);

N – кількість «коробок», необхідних для покриття об'єму.

Ціль роботи – проаналізувати стохастичні моделі електричного розряду в однорідних середовищах.

Застосовуючи рівняння електродинаміки і механіки суцільних середовищ неможливо отримати ефекти розгалуження розрядного каналу. Одним з підходів для забезпечення відповідності моделі розвитку розряду з експериментальною картиною розвитку є введення додаткових рівнянь, що сформульовані на підставі теорії ймовірності.

Вперше такий підхід був застосований для моделювання електричного розряду в 1984 році [5]. У відповідності з таким принципом моделювання [5,6] уся розрахункова область покривається регулярною сіткою, в якій розв'язується рівняння Лапласа. Під розв'язком рівняння Лапласа розуміється пошук потенціалу φ_i довкола початкового осередку. В подальшому розраховується зважена ймовірність довкола початкового осередку для визначення напрямку розвитку розряду

$$p_i = \frac{(\varphi_i)^q}{\sum_{i=1}^n (\varphi_i)^q}.$$

Ступінь q налаштовує розмірність розряду, наприклад, для двовимірного об'єму $q \in [0;4]$. Так, в двовірній і трьохвірній задачах максимальна кількість напрямків розповсюдження розряду навколо початкового осередку чотири і шість відповідно. За умови рівної ймовірності можливості розповсюдження у два або більше осередків, то обирається один з них довільно. Після обрання осередку розповсюдження розряду потенціал у ньому стрибкоподібно змінюється і стає рівним потенціалу в початковому осередку. Потім знову обчислюється потенціал довкола новоутвореного кластеру з двох елементарних обсягів, обирається новий елементарний обсяг, що долучається до кластеру, і т. д.

Основні недоліки моделі: нерозкритий вплив елементарних процесів на перебіг розряду, не враховуються фізичні властивості розрядного каналу, геометрія розрядного каналу визначається ступенем дискретизації розрахункової області, не дозволяє однозначно визначити час пробою.

Така модель може застосовуватися в комп'ютерній графіці для отримання зображень електричних розрядів.

Модифікацією цієї моделі є модель представлена в [7], яка на основі енергетичного критерію дозволяє розділити стримерну і лідерну стадії розвитку електричного розряду в повітрі. В цій моделі враховується провідність стримерів. Також кількість осередків розповсюдження розряду на одному кроці за часом може бути більше за один і визначається на основі запропонованого критерію

$$E_i > E_{кр} - \delta,$$

де E_i , $E_{кр}$ – поточне і критичне значення напруженості електричного поля;

δ – випадкова флуктуація електричного поля.

В [8] запропонована наступна модель розвитку електричного розряду в конденсованих макроскопічно однорідних середовищах:

$$\begin{aligned} \nabla^2 \varphi &= -\rho_{\Sigma}/\epsilon; \\ P_i &= 1 - \exp(-\alpha H(E_n - E_{кр}) E_n^2) > \xi; \\ \partial \rho_v / \partial t &= \nabla \sigma \nabla \varphi; \\ \partial \rho_l / \partial t &= -\partial(\gamma E_l) / \partial t; \\ \partial \gamma / \partial t &= \chi \gamma E^2 - \zeta \gamma, \end{aligned}$$

де ρ_{Σ} – сумарна об'ємна густина вільних зарядів в діелектрику ρ_v і розрядних каналах ρ_r ;

ϵ – абсолютна діелектрична проникність;

P_i – ймовірність виникнення нового елемента розрядної структури за часовий крок моделі;

$H(E_n - E_{кр})$ – ступінчаста функція Гевісайда, яка визначається співвідношенням критичної напруженості електричного поля $E_{кр}$ для зростання розрядних каналів і напруженості електричного поля E_n у напрямку нормалі n ;

ξ – випадкова величина з нормального розподілення, $\xi \in \{0; 1\}$;

σ – питома провідність діелектрика;

E_l і ρ_l – напруженість електричного поля і лінійна густина зарядів відповідно для l -ої точки розрядного каналу;

l – напрямок розвитку каналу;

γ – погонна провідність розрядного каналу, пропорційна добутку поперечного перерізу каналу на його питому провідність, $\gamma = \sigma_p S_p$;

α, χ, ζ – деякі коефіцієнти.

Ця модель реалізується на рівномірній решітці. В якості розрядного каналу виступає лінійний об'єкт, що сполучає центри сусідніх осередків решітки. На кожному часовому кроці додається довільна кількість точок решітки.

Недоліки моделей вказаних у [7,8]: відсутність моделювання динаміки зміни діаметрів розрядних каналів; процедура обрання налаштувальних параметрів не висвітлюється, не зрозуміло, які закономірності існують в зміні значень цих параметрів при зміні середовища, в якому відбувається електричний розряд; швидкість розвитку розряду формально визначається розміром розрахункової сітки, обґрунтування розміру якої також відсутнє.

В [9] запропоновані рівняння механіки для опису еволюції діаметра одноканальної моделі електричного пробою в матеріалах з твердим агрегатним станом.

В [10] наведена система рівнянь, що описує розвиток електричного пробоя в рідинах:

$$\begin{aligned}\nabla^2\varphi &= -\rho/\epsilon; \\ P_i &= (\exp(-E_{кр}/g))\exp(E/g); \\ \partial\rho_p/\partial t &= \nabla\sigma_p\nabla\varphi; \\ \sigma_p &= \chi\rho/(\gamma_* - 1); \\ dv/dt &= (K/\rho_0)(p/r) - 1,35Kc_0^{0,3}v^{1,7}/r; \\ dr/dt &= v; \\ dp/dt &= -(2\gamma_*pv/r) + (\gamma_* - 1)(\sigma_p\nabla\varphi)(\nabla\varphi)r^2,\end{aligned}$$

де ρ – тиск в розрядному каналі;

r – радіус розрядного каналу;

v – швидкість руху стінки розрядного каналу;

ρ_0, c_0 – питома густина і швидкість звуку в незбуреній рідині;

γ_* – ефективний показник адіабати;

g, K – деякі константи.

Основні недоліки цієї моделі: спрощене описання розвитку розрядних каналів у рідині; швидкість зростання окремого каналу і похідні від неї параметри визначались на основі середньої швидкості росту розрядної структури.

Загалом в роботах [7,8,10] ігнорується той факт, що при одних і тих же вихідних параметрах і стохастичній природі розряду можуть формуватися різні підсумкові структури електричного розряду. Також в усіх стохастичних моделях електричного розряду якість моделювання визначається якістю генератора псевдовипадкових чисел.

Висновки. Електричний розряд у діелектричному середовищі – це складне фізичне явище, що характеризується фазовими переходами об'ємів вихідного середовища, стохастичністю, взаємопоєднаністю електричних, механічних і теплових процесів. Математичні моделі електричного розряду відрізняються кількістю вхідних параметрів, розмірністю системи рівнянь, припущеннями та областю застосування.

Список використаних джерел

1. Nijdam S., van Wetering F.M., Blanc R., van Veldhuizen R.E., Ebert U. Probing photo-ionization: experiments on positive streamers in pure gases and mixtures. – Journal of Physics D: Applied Physics, 2010, Vol. 43, No. 14. DOI 10.1088/0022-3727/43/14/145204
2. Kolb J.F., Joshi R.P., Xiao S., Schoenbach K.H. Streamers in water and other dielectric liquids. – Journal of Physics D: Applied Physics, 2008, Vol. 41, No. 23. DOI: 10.1088/0022-3727/41/23/234007
3. Schurch R., Munoz O., Ardila-Rey J., Donoso P., Peesapati V. Identification of electrical tree aging state in epoxy resin using partial discharge waveforms compared to traditional analysis. – Polymers, 2023, 15(11). – p. 2461. <https://doi.org/10.3390/polym15112461>
4. Falconer K.J. Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications. – Publisher: Wiley; 3rd edition, England, 2013. – 386 p.
5. Niemeyer L., Pietronero L., Wiesmann H.J. Fractal dimension of dielectric breakdown. – Physical Review Letters, 1984, Vol. 52. – p. 1033–1036.
6. Kim T., Sewall J., Sud A., Lin M.C. Fast Simulation of Laplacian Growth. – IEEE Computer Graphics and Applications, 2007, Vol. 27, Issue 2. – P. 68-76. DOI: 10.1109/MCG.2007.33
7. Kupershtokh A.L., Charalambakos V., Agoris D., Karpov D.I. Simulation of breakdown in air using cellular automata with streamer to leader transition. – Journal of physics: applied physics, 2001, Vol. 34. – P. 936–946.
8. Usmanov G.Z., Lopatin V.V., Noskov M.D., Cheglovkov A.A. Simulation of electrical discharge development at Interface of solid and liquid dielectrics. – Journal: physics, 2006, Vol. 10. – P. 231-234.
9. Usmanov G.Z., Lopatin V.V., Noskov M.D., Cheglovkov A.A. Simulation of electro-discharge gestruction of solid dielectrics. – Journal: physics, 2007, Vol. 9. – P. 380-383.
10. Kupershtokh A.L., Karpov D.I. Models of pulse conductivity of streamers propagating in dielectric liquid. – IEEE International Conference: Dielectric Liquids, 2005. DOI:10.1109/ICDL.2005.1490033

СЕКЦІЯ 4. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

УДК 681.5

Васильєв О.Г., к.т.н., доц., Смірнова І.М., Биков М.А.

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

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА АВТОМАТИЧНОЇ БУКСИРНОЇ ЛЕБІДКИ

В даний час роль буксирування суден підвищилася з ростом морської господарської інфраструктури поза портовим призначенням і затримками в модернізації внутрішньої інфраструктури морських і річкових портів. Така обставина вимагає збільшення потужності, маневреності й адаптації буксирних пристроїв до дії в надзвичайних і аварійних умовах.

Такі аварійні обставини виникають через різновиди буксирних операцій в портових водах та на підходах до них, нештатністю навігаційної обстановки і скоротечністю аварійної морської події або інциденту.

У практиці морських буксирувань особливе місце приділяється ривкам буксирного троса, які викликані: нерівномірною роботою пропульсивного комплексу буксирувальника, нищенням судна, яке буксирують, різким поворотом буксирувальника, шквалом, що раптово налетів.

Такі впливи слід зводити до мінімуму при здійсненні переходу. При буксируванні у відкритому морі жорстке закріплення буксирного каната припустимо лише при плаванні в тиху погоду.

На морських суднах-буксирувальниках широке застосування одержали лебідки, постачені автоматичними пристосуваннями для травлення (ослаблення) каната при зростанні навантаження на нього й вибирання каната при ослабленні навантаження.

Автоматичні буксирні лебідки призначені для автоматичної підтримки постійного зусилля в буксирному тросі. Їх застосовують на спеціалізованих суднах-буксирах, криголамах.

При збільшенні натягу троса лебідка автоматично включається й потрапляє трос доти, поки зусилля в ньому не поменшається до заданого. При зменшенні натягу троса лебідка так само автоматично включається й набиває його до заданого зусилля.

При застосуванні регульованого електропривода з перетворювачами частоти з'являється можливість відмовитися від технічно складних механічних редукторів і варіаторів, забезпечити роботу на знижених частотах обертання із зменшенням циклічних динамічних і вібраційних навантажень на підшипники, елементи кріплення, фундаменти електродвигунів.

Коефіцієнт корисної дії пристроїв частотно-регульованого електропривода може досягати 98%. За оцінками фахівців, застосування частотно-регульованого електропривода може забезпечити економію електроенергії близько 50% порівняно з нерегульованим варіантом.

Рівень енергоємності та автоматизації сучасних суден незмінно збільшується, підвищується середня потужність судових електроустановок, що обумовлює **актуальність** підвищення надійності судового електроустаткування.

Таким чином, дослідження та удосконалення системи керування електропривода буксирної лебідки з метою забезпечити стійкий рух буксирної системи, стабільний та безпечний процес буксирування суден в різноманітних умовах експлуатації є актуальною задачею.

Метою роботи є модернізація системи керування електропривода буксирної лебідки шляхом заміни існуючої релейно-контакторної системи керування на систему частотного керування, що передбачає плавне регулювання швидкості електродвигуна в широкому діапазоні при високому рівні енергозбереження, та дослідження динамічних властивостей модернізованої системи керування електропривода.

При виборі привода необхідно також враховувати, що привод працює в різних режимах, а також можливість довгострокової роботи привода на знижених обертах.

На морському флоті 86% електроприводів вантажопідійомних пристроїв працюють на змінному струмі. Особливо надійний асинхронний короткозамкнений електродвигун змінного струму.

У регульованих електроприводах використовуються асинхронні електродвигуни з короткозамкненим чи фазним ротором, синхронні та вентильні електродвигуни.

В якості об'єкту дослідження розглядається лебідка буксирна автоматична з електричним приводом ЛЕ-38 [1].

При експлуатації існуючої схеми системи керування головного привода лебідки виникають наступні недоліки:

- у даній схемі не забезпечується плавне регулювання швидкості обертів барабану при зміні навантаження;
- в існуючій схемі привода лебідки використовується електродвигун із фазним ротором, що зменшує його термін служби, збільшує витрати на обслуговування, вони більш громіздкі та ціна їх набагато вище двигунів із короткозамкнутим ротором.

Для того щоб покращити роботу лебідки та зменшити витрати на її обслуговування, потрібно розрахувати потужність встановлюваного асинхронного двигуна та підібрати його за основними умовами.

Основні технічні дані буксирної автоматичної лебідки ЛЕ-38 для розрахунків:

- номінальне тягове зусилля $F=180\text{кН}$;
- швидкість вибирання-травлення $v_6=17\text{м/хв}$.

Дослідження і порівняння характеру перехідних процесів системи керування виконується із заміною ПІ-регулятора швидкості на П-регулятор швидкості, а також при встановленні фільтра на вхід системи керування з ПІ-регулятором швидкості.

На рисунках 2, 3 та 4 зображені перехідні характеристики швидкості обертання валу двигуна із застосуванням ПІ-регулятора швидкості, П-регулятора швидкості, та ПІ-регулятора швидкості і фільтром на вході системи відповідно.

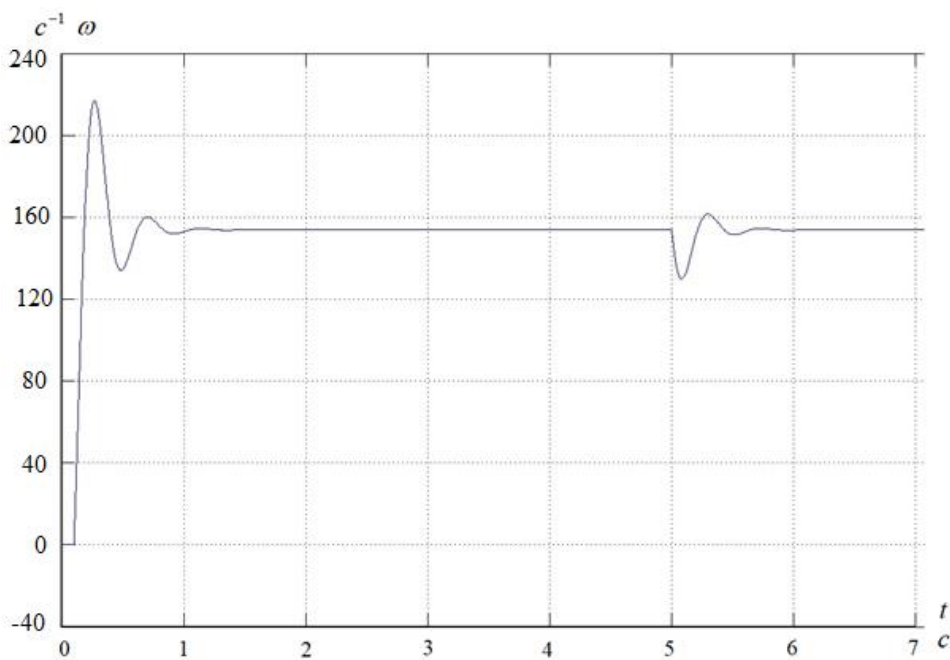


Рисунок 2 – Графік перехідного процесу по швидкості системи керування з ПІ-регулятором

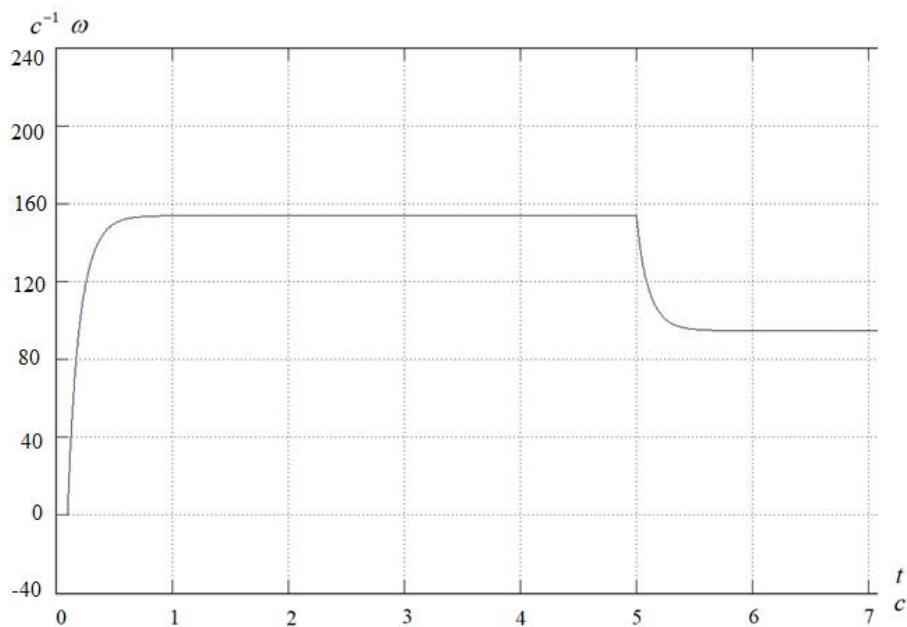


Рисунок 3 – Графік перехідного процесу по швидкості системи керування з П-регулятором

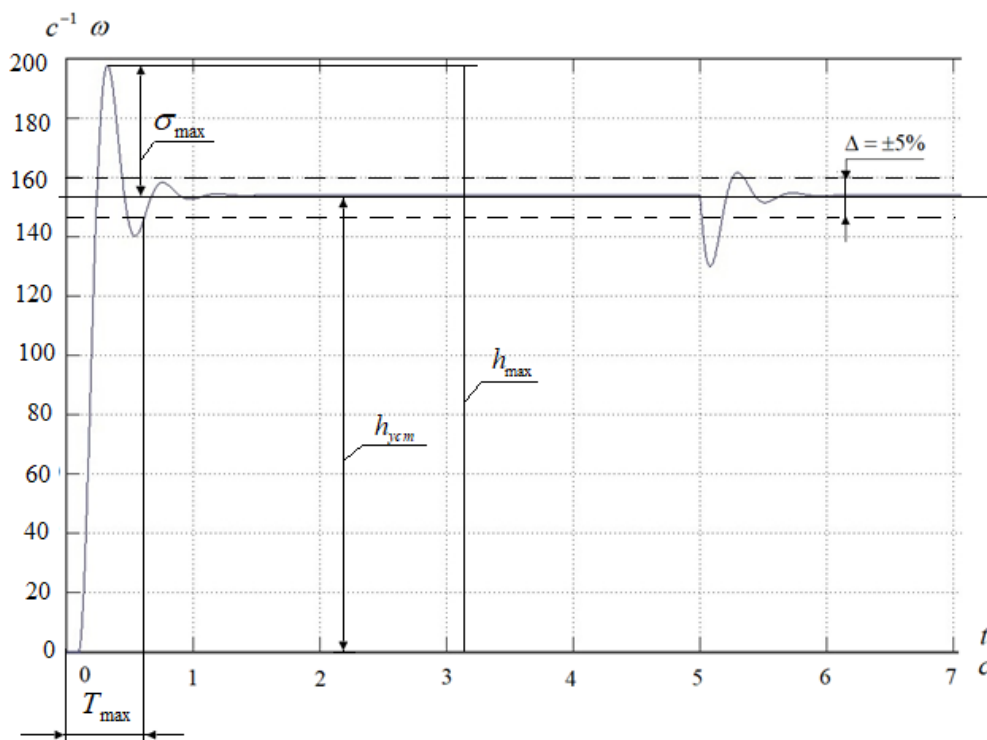


Рисунок 4 – Графік перехідного процесу по швидкості системи керування з ПІ-регулятором та фільтром на вході

Отримано наступні результати дослідження динамічних властивостей:

- при застосуванні пропорційно-інтегрального закону регулювання (ПІ-регулятор) перерегулювання склало $\sigma = 48,3\%$, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,55$ с, коливальність $N = 1$;
- при застосуванні пропорційного закону регулювання (П-регулятор) перерегулювання відсутнє, час перехідного процесу зменшився до $T_{\max} = 0,4$ с, але при цьому виникла статична похибка $\epsilon = 37\%$;
- при введенні аперіодичної ланки (у якості фільтра) на вхід системи керування з ПІ-регулятором, перерегулювання склало $\sigma = 25,8\%$, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,6$ с, коливальність $N = 1$, статична похибка відсутня $\epsilon = 0$.

При такій структурі системи керування максимальні відхилення струму не перевищують максимально допустимих значень.

Враховуючи отримані результати дослідження, остаточно для системи керування була обрана схема з ПІ-регулятором швидкості та фільтром на вході в систему.

Висновки. Запропонована заміна існуючої системи керування на електропривод з частотно-струмовим керуванням покращила динамічні характеристики системи керування електропривода буксирної лебідки.

Список використаних джерел

1. Буксирная лебедка ЛЭ38. [Електронний ресурс]: Режим доступу <http://www.stroitelstvo-new.ru/sudostroenie/mechanizm/specialnogo-naznacheniya.shtml>
2. Электродвигатели асинхронные серии МАП. [Електронний ресурс]: Режим доступу http://neva-diesel.com/elektrodvigateli_asinhronnye_serii
3. Электропривод Siemens MICROMASTER 440. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ИАВК.655427.001 ТО.
4. Грабко, В. В. Электричні машини. Розрахунок експлуатаційних характеристик. Курсове проектування : навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 110 с.
5. Гераїмчук М. Д. Моделирование систем у середовищі MATLAB-SIMULINK: Комп'ютерний практикум / М.Д. Гераїмчук, Ю.Ф. Лазарев, Т.О. Толочко. – К., 2006. – 175с.

УДК 681.51:004.89

Герасимов В. В., Грудініна Г. С., к.т.н.

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

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ В АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПОРТАЛЬНИХ КРАНІВ

Актуальність. Останнім часом, для покращення якості регулювання електроприводів з асинхронними двигунами, застосовують частотні перетворювачі. Проведений аналіз тенденції в автоматизації сучасних електроприводів портальних кранів свідчить, що застосування частотно-регульованих приводів (VFD – Variable Frequency Drives) є поширеним методом удосконалення електроприводу [1-3]. Дані приводи дозволяють регулювати швидкість і потужність двигунів залежно від навантаження, що забезпечує високу ефективність і гнучкість роботи. Частотно-регульовані приводи забезпечують плавне прискорення і гальмування крана, що знижує механічні навантаження на конструкції. VFD приводи дозволяють економити енергію завдяки точному регулюванню швидкості та потужності.

Метою роботи обґрунтування необхідності застосування частотно-регульованого електроприводу для портального крана.

Принцип дії асинхронного двигуна полягає в тому, що швидкість обертання ротора асинхронної машини завжди менша від швидкості обертового магнітного поля і визначається $n = f(60/p)(1 - S)$, де f – частота змінного струму джерела живлення, p – кількість пар полюсів первинної обмотки, S – ковзання ротора, $f \cdot (60/p)$ – швидкість обертання магнітного поля.

При цьому, швидкість обертання ротора залежить від кількості пар полюсів первинної обмотки ($p = 1$; $p = 2$; $p = 3$ і т. д.). Щоб досягти більшої швидкості обертання магнітного поля, первинну обмотку асинхронної машини живлять струмом підвищеної частоти. Швидкість обертання ротора асинхронної машини регулюють зміною частоти струму живлення, або зміною кількості пар полюсів первинної обмотки (ступінчасте регулювання), а також, зміною ковзання [4-6].

Сучасні підйомно-транспортні машини характеризуються широким діапазоном вантажопідйомності, габаритів площ, що обслуговуються, високою продуктивністю.

Основною особливістю базової системи електроприводу портальних кранів є ступінчасте регулювання швидкості. У зв'язку з цим, мають місце поштовхи моменту двигуна, що негативно позначається на механічному устаткуванні, і, швидкість пересування також носить нерівномірний характер. Це в першу чергу дається взнаки при низьких швидкостях, коли повинна проводитися точна зупинка крана і тому продуктивність крана сильно залежить від майстерності і досвіду роботи кранівника.

Для здійснення можливості регулювання моменту та швидкості в сучасних електроприводах використовуються векторний та скалярний методи частотного керування. Скалярне керування асинхронним двигуном досить просто реалізується, але має недоліки. По-перше, якщо на валу не встановлений датчик швидкості, то неможливо здійснювати регулювання значення швидкості обертання валу, оскільки швидкість обертання залежить від навантаження, що впливає на електропривод. Установка датчика швидкості з легкістю вирішує цю проблему, але залишається відсутність можливості регулювання значення моменту на валу двигуна. Векторне керування не тільки формує гармонічні струми (напруги) фаз, але і забезпечує управління магнітним потоком ротора (моментом на валу двигуна). Векторне керування застосовується у разі, коли в процесі експлуатації навантаження може змінюватись на одній і тій же частоті – немає чіткої залежності між моментом навантаження та швидкістю обертання, а також у випадках, коли необхідно отримати розширений діапазон регулювання частоти при номінальних моментах [7, 8].

Перетворювач частоти (частотний перетворювач) призначений для зміни частоти і напруги, що подається на електродвигун, з метою регулювання його швидкості обертання. Дана властивість особливо актуальна для асинхронних двигунів, у яких швидкість обертання ротора залежить від частоти мережі живлення. Принцип дії перетворювача частоти складається з декількох етапів:

- Випрямлення змінного струму. Першим кроком є випрямлення змінного струму (AC) мережі в постійний струм (DC). Даний процес здійснюється за допомогою випрямляча, що складається з діодів або тиристорів. На цьому етапі також можуть бути встановлені фільтри для згладжування пульсацій постійного струму.

- Фільтрація та згладжування пульсацій. Постійний струм після випрямлення проходить через фільтри для стабілізації напруги, що забезпечує рівномірність живлення для наступного інвертора і допомагає зменшити електромагнітні перешкоди.

- Інвертування постійного струму у змінний. Основний етап – інвертування постійного струму в змінний струм з потрібною частотою та амплітудою. Даний процес здійснюється за допомогою інвертора, який складається з транзисторів або тиристорів, що відкриваються та закриваються з певною частотою. Таким чином, формується змінний струм з бажаною частотою.

- Керування частотою і амплітудою напруги. Частотний перетворювач використовує широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ) для регулювання частоти та напруги вихідного струму. ШІМ дозволяє формувати вихідний сигнал з різними частотами, що відповідає необхідній швидкості обертання двигуна.

- Регулювання швидкості обертання двигуна. Перетворювач частоти змінює частоту вихідного струму, що подається на асинхронний двигун. Оскільки частота живлення прямо-пропорційно впливає на швидкість

обертання ротора, частотний перетворювач забезпечує плавне регулювання швидкості двигуна, залежно від заданих параметрів.

Завдяки такій системі перетворювач частоти дозволяє ефективно керувати роботою асинхронного двигуна, регулюючи його швидкість у широкому діапазоні, що сприяє енергозбереженню та оптимізації процесів.

Компанія Siemens є одним із найбільших постачальників електричних приводів для порталних кранів. Siemens пропонує ряд електродвигунів, спеціально розроблених для кранів, включаючи порталні крани вантажопідйомністю 10 тон [9]. Компанія ABB також виробляє частотно-регульовані приводи, що дозволяють кранам працювати плавно та економічно. Schneider Electric пропонує передові двигуни та приводи, придатні для використання в порталних кранах вантажопідйомністю близько 10 тонн. Серія Altivar Process ATV900 спеціально розроблена для складних промислових процесів, таких як підйомні машини та крани. Ці приводи забезпечують чудову продуктивність двигуна, ефективне управління енергією та бездоганну інтеграцію з різними системами керування. Лінійка підтримує такі функції, як прогнозоване технічне обслуговування, моніторинг процесів і підключення до Ethernet, які є ключовими для роботи сучасних кранів [10].

Висновки. Базовими напрямками розвитку підйомно-транспортного обладнання є вдосконалення приводів машин та механізмів, спрямоване на розширення діапазону регулювання швидкостей, підвищення ККД та надійності, розробка нових конструктивних рішень. Переваги застосування перетворювача частоти для керування асинхронним двигуном приводу порталного крана:

- плавний запуск та зниження пускових струмів;
- можливість точного регулювання швидкості обертання;
- зменшення енергоспоживання та підвищення ефективності роботи;
- збільшення терміну служби обладнання за рахунок зниження навантажень.

Список використаних джерел

1. *Kalmar Electric Straddle carriers with zero emissions.* (2024). Вилучено 12, Жовтень 2024, із <https://www.kalmarglobal.com/equipment/straddle-carriers/electric-straddle-carrier/>
2. *Kalmar launches a new digital platform MyKalmar.* (2024). Cargotec. Вилучено 12, Жовтень 2024, із <https://www.cargotec.com/en/nasdaq/trade-press-release-kalmar/2021/kalmar-launches-a-new-digital-platform-mykalmar/>
3. *Home – VEM.* (2024) Вилучено 12, Жовтень 2024, із <https://www.vem-group.com/en/>
4. Колб, Антон. *Теорія електроприводу* [Електронний ресурс] : навчальний посібник / Антон Колб, А.А. Колб. – 2-е вид. перероб. і доп. – Д.: Національний гірничий університет, 2011. – 540 с. – режим доступу: <http://elib.chdtu.edu.ua/e-books/4905>
5. Возняк, О.М., Штуць, А.А., Колісник М.А. Сучасні системи електроприводів. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ТВОРИ, 2021. – 280 с.
6. Воскобойник, В.Е. *Основи електропривода виробничих машин та комплексів* [текст]: навч. посіб. / В.Е. Воскобойник, В.А. Бородай, Р.О. Боровик, О.Ю. Нестерова – Д.: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 2021. – 254 с.
7. Бахрушин, В.Є. *Теорія керування* [Електронний ресурс] : навч. посіб. / В.Є. Бахрушин, Т.Ю. Огаренко. – Запоріжжя : КПУ, 2014. – 224 с. – режим доступу: <http://elib.chdtu.edu.ua/e-books/4882>
8. Волинець, В.І. *Основи електроприводу* : метод. вказівки до лабораторних занять для студ. спец.141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної та заоч. форм навч. / уклад. В.І. Волинець. – Луцьк : Луцький НТУ, 2018. – 48 с.
9. *SIMOTICS motors for cranes.* (2024). Вилучено 12, Жовтень 2024, із <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10226836>
10. *Schneider-electric* (2024). Вилучено 12, Жовтень 2024, із https://portal2.schneider-electric.com/Contents/docs/SQD-ATV930D22N4_DATA%20SHEET.PDF

УДК 681.5

Білюк І.С., к.т.н., доц., Савченко О.В., Рачинський А.В., Чубчик М.С.

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

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВАНТАЖНОГО НАСОСА

В роботі розглянуто питання заміни застарілого тиристорного перетворювача автоматизованого електропривода вантажного насоса на перетворювач частоти з векторним керуванням.

Вантажні насоси призначені для перекачування незабруднених механічними домішками нафтопродуктів і води з домішками нафтопродуктів [1, 2]. Електропривод вантажного насоса укомплектовано тиристорним перетворювачем *SAMI* та асинхронним електродвигуном 4АН315М4У3. Аналіз характеристик перетворювача показав, що він морально застарів та має обмежені функціональні можливості, зокрема щодо інтеграції системи в автоматизовану систему керування технологічним процесом [3]. Для модернізації електропривода насосного агрегату в роботі розглянуто перетворювач серії *Altivar 71* [4, 5], який відповідає сучасним вимогам завдяки

використанню різноманітних законів керування асинхронного електропривода і численних функціональних можливостей.

Після розрахунку всіх величин, які входять в структурну схему [6], необхідно підставити їх в модель [7] векторної системи управління. Провести моделювання та отримати графік перехідних процесів.

Зробимо моделювання векторної системи управління[8]. На рисунку 1 представлена модель системи.

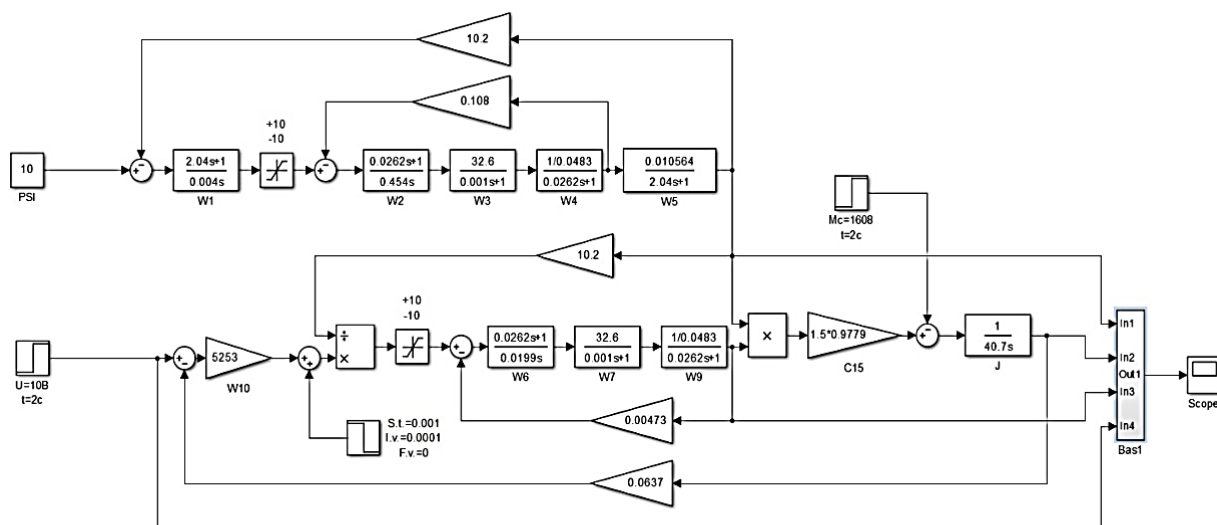


Рисунок 1 – Модель векторної системи керування

Після моделювання системи ми отримали графіки перехідних процесів, які показані на рис. 2.

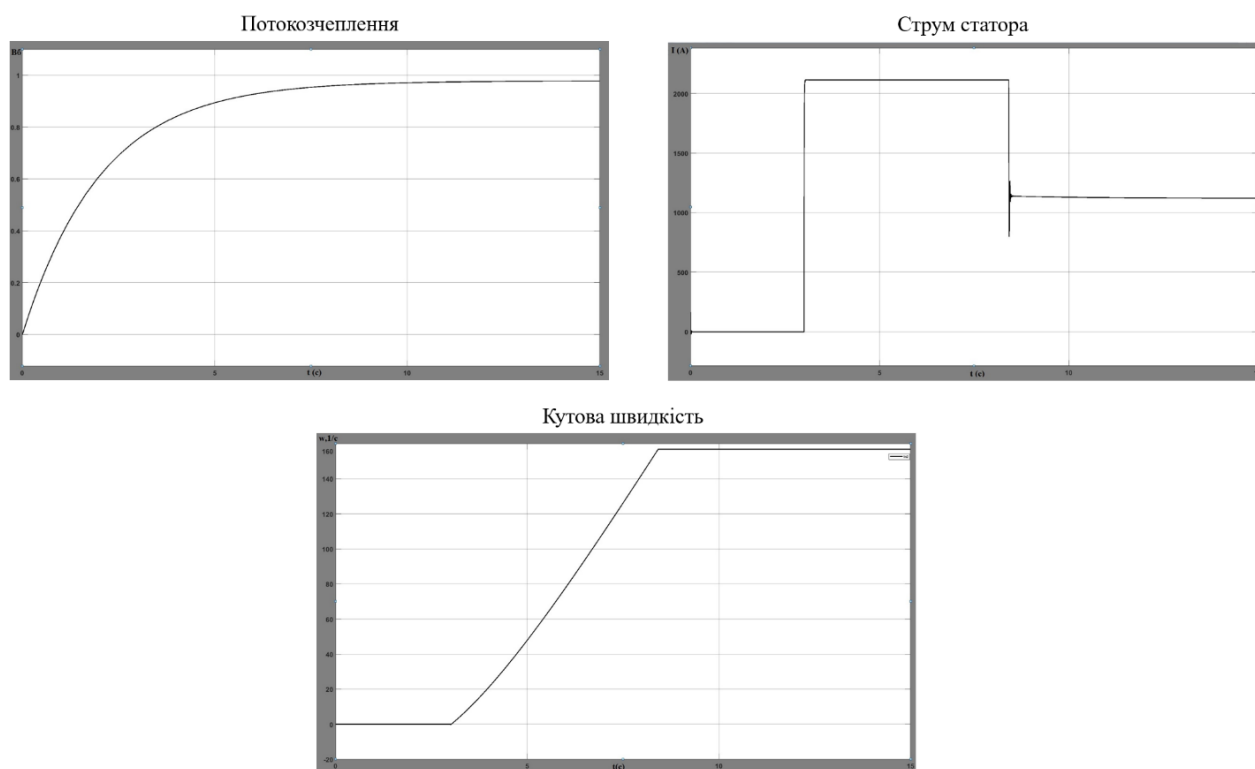


Рисунок 2 – Графіки перехідних процесів

Висновок. В представленій роботі розглянуто питання заміни застарілого тиристорного перетворювача автоматизованого електропривода вантажного насоса на перетворювач частоти з векторним керуванням[9].

В роботі проведено математичний опис об'єкта керування та елементів системи керування, виконано розрахунок їх параметрів. Досліджено динаміку системи векторного керування. Аналіз результатів дослідження якості керування показав, що досліджуваний електропривод має показники, які цілком задовольняють вимогам, що пред'являються до електроприводів насосного обладнання. Також завдяки використанню частотного перетворювача з векторним керуванням, вдалося досягти економії електроенергії близько 30%.

Список використаних джерел

1. Специальные системы нефтеналивных судов. // Сайт MirMarine – режим доступу: <https://mirmarine.net/svm/sudovye-sistemy/165-cpetsialnye-sistemy-neftenalivnykh-sudov>
2. Насосы центробежные двухстороннего входа для перекачивания нефтепродуктов и агрегаты электронасосные на их основе: Руководство по эксплуатации - :H12.14.00.000.РЭ.
3. Головин Ю.К. Судовые электрические приводы: Учебные пособия для мореходных училищ. – 2 издание, переработанное и дополненное – М.: Транспорт, 1991. – 327с.
4. Перетворювачі частоти Altivar 71, каталог 09- :schneiderzelectric 2009. – 333с
5. Перетворювачі частоти Altivar 71, каталог 02- :schneiderzelectric 2012. – 132с.
6. Кирилов Р.С. Моделирование векторной системы управления с ориентацией по потоку сцепления ротора: Учебное пособие. – М.: УГГУ, 2010, - 29с.
7. Терехов В.М. Системы управления электроприводов : [учебник для студ. высш. учеб. заведений] / В.М. Терехов, О.И. Осипов. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 304 с.
8. Герман-Галкин С.Г., Кардонов Г.А. Электрические машины: Лабораторные работы на ПК. - СПб.: КОРОНА принт. 2003. - 256 с
9. Білюк, І., Савченко, О., Руденко, К., Малиновський, С., & Філоненко, Р. (2023). Спосіб модернізації електропривода насосного агрегату водопостачання. *Scientific Collection «InterConf»*, (182), 201-207.

УДК 681.511.46

Пальчиков О. О., к.т.н., Малиновський В.В.

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

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛІНЕАРИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ДИМОСОСА

Практично всі електромеханічні системи характеризуються тим чи іншим ступенем нелінійності. Основні методи визначення стійкості нелінійних систем наведені у [1, 2]. Визначенню стійкості нелінійних систем присвячені роботи [3-9]. Крім перехідного процесу динамічні властивості системи можна оцінювати за частотною характеристикою системи. На основі цієї характеристики запропоновані методи для лінійних і лінеаризованих замкнених систем, наприклад, критерій Найквіста, логарифмічний критерій Найквіста [1], а також кількісна теорія зворотнього зв'язку [10-11]. Однак, такі операції вимагають перетворення структурної схеми системи до однієї ланки або групи послідовно з'єднаних ланок, що охоплюються жорстким одиночним зворотнім зв'язком. Експериментально зняти частотні характеристики розімкнутої еквівалентної системи не завжди можливо. Тому дослідження частотних характеристик замкнених нелінійних систем є актуальним.

Ціль роботи – побудувати частотні характеристики для лінеаризованих випадків імітаційної моделі електропривода димососа розробленої в Simulink.

Відповідно до технічного завдання обрано елементну базу і спроектовано електропривод димососа. Розроблена імітаційна модель якого в Simulink представлена на рис. 1. Передаточна функція асинхронного двигуна аперіодичного типу побудована на основі модуля жорсткості лінеаризованої механічної характеристики та електромагнітної сталої часу при номінальній частоті мережі. При розробці моделі також враховано внутрішній зворотній зв'язок за кутовою швидкістю в асинхронному двигуні, який аналогічний зворотньому зв'язку за електрорушійною силою в колекторному двигуні постійного струму. Відцентровий вентилятор димососа має механічну характеристику, що визначається наступним рівнянням

$$M_c = 39,1 + 0,006 \cdot \omega^2.$$

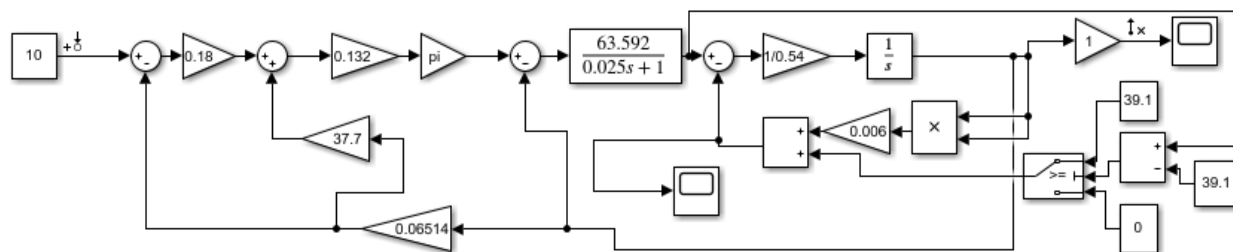


Рисунок 1 – Імітаційна модель електропривода димососа в Simulink

При моделюванні пуску електропривода з робочим органом, що має інваріантну від кутової швидкості складову механічної характеристики, він буде розкручуватися в зворотньому напрямі деякий час. Тобто режим електричної машини змінюється з двигунового на гальмовий, а це не завжди буде відповідати фізичній дійсності, як і в даному випадку. Такий перехідний процес буде виглядати, як зміна кутової швидкості від нуля до деякого від'ємного значення, потім її поступове збільшення, перехід через нуль і подальше збільшення до деякого додатного значення, що обумовлюється перетином механічних характеристик двигуна і робочого органу. Для

уникнення цього явища було вперше запропоновано у [12] групу елементів імітаційної моделі електропривода на основі блока порівняння. Таке представлення робочого органу надає нелінійні властивості запропонованій моделі електропривода. Жорсткий зворотній зв'язок за швидкістю має від'ємний і додатний канали. Функція додатного каналу полягає в усуненні дії внутрішнього зв'язку за кутовою швидкістю в асинхронному двигуні задля покращення динаміки електропривода в цілому. Динаміка зміни кутової швидкості і моменту в спроектованому електроприводі, визначених на основі імітаційної моделі, представлені на рис. 2. Характер перехідного процесу дозволяє стверджувати про стійкість розробленої електромеханічної системи.

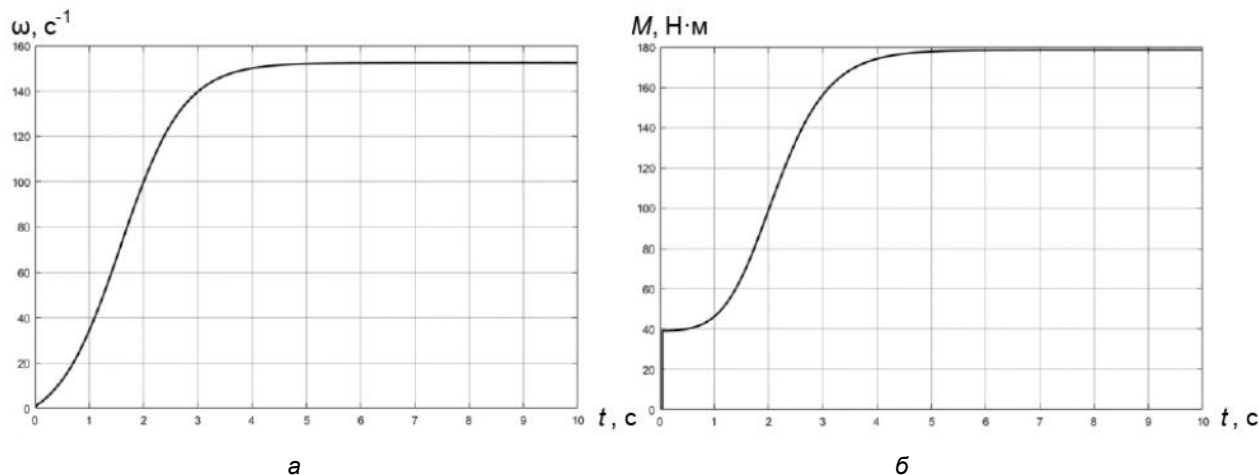


Рисунок 2 – Графіки перехідних процесів за кутовою швидкістю (а) та моментом (б) спроектованого електропривода димососа

В Simulink є інструмент Model Linearizer, що дозволяє провести операцію лінеаризації системи і для такого представлення цієї системи знайти її частотні характеристики для конкретного моменту часу у виді діаграм Найквіста, Боде, Блека-Ніколса [13]. Частотні характеристики імітаційної моделі замкнутого спроектованого електропривода димососа у виді діаграм Боде для початку і закінчення перехідного процесу (значення моментів часу визначено за рис. 2) розгону до робочого значення кутової швидкості представлені на рис. 3. Різниця значень коефіцієнта підсилення на частоті 0,01 Hz на початку і в кінці перехідного процесу склала 1 dB.

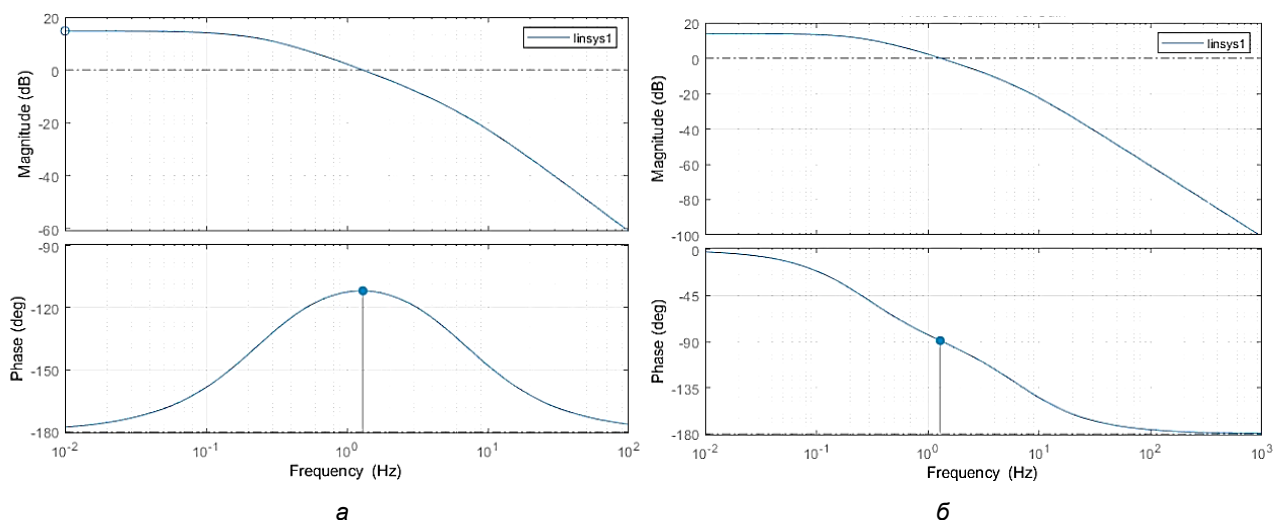


Рисунок 3 – Логарифмічно-частотні характеристики електропривода при наявності зворотніх зв'язків для моментів лінеаризації: $t = 0$ с (а) та $t = 5$ с (б)

Для оцінки стійкості систем з відносно невеликою нелінійністю можна користуватися методом розташування коренів на комплексній площині. Результати дослідження для початку і кінця перехідного процесу представлені на рис. 4. З аналізу рис. 4 випливає, що розглянута система стійка в момент часу $t = 5$ с і нестійка в момент часу $t = 0$ с. Це загалом означає, що стійкість системи під час перехідного процесу збільшується і система має відносно невелику нелінійність. Час набуття від'ємного значення другого кореня знаходиться в межах 1,57...1,58 с. На рис. 5 представлені логарифмічно-частотні характеристики для моментів, коли дійсний корінь на комплексній площині ще додатний і коли стає від'ємним.

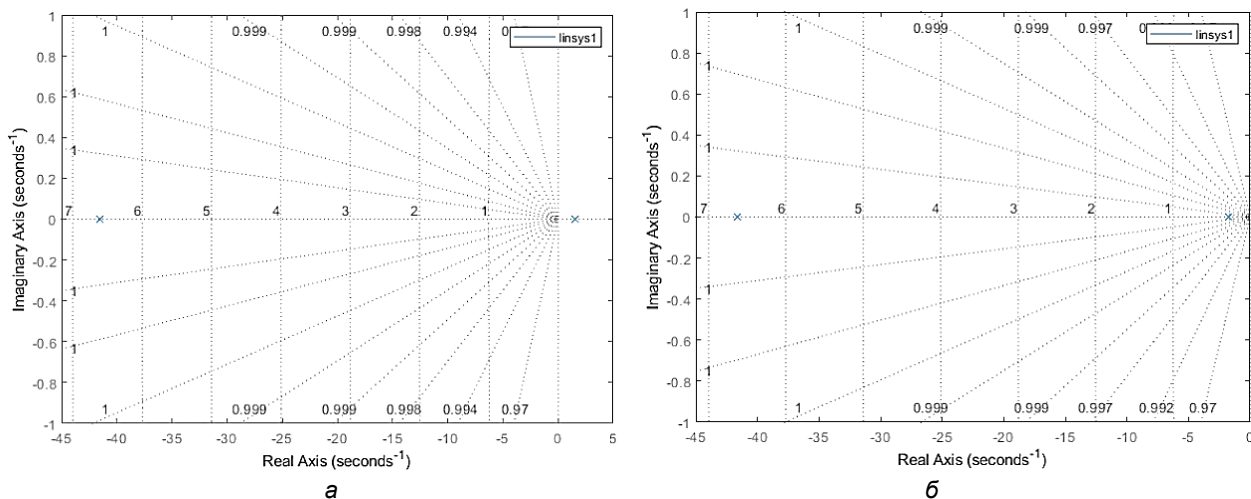


Рисунок 4 – Визначення стійкості замкненої електроμηχανічної системи на основі теорем Ляпунова для моментів лінеаризації: $t = 0$ с (а) та $t = 5$ с (б).

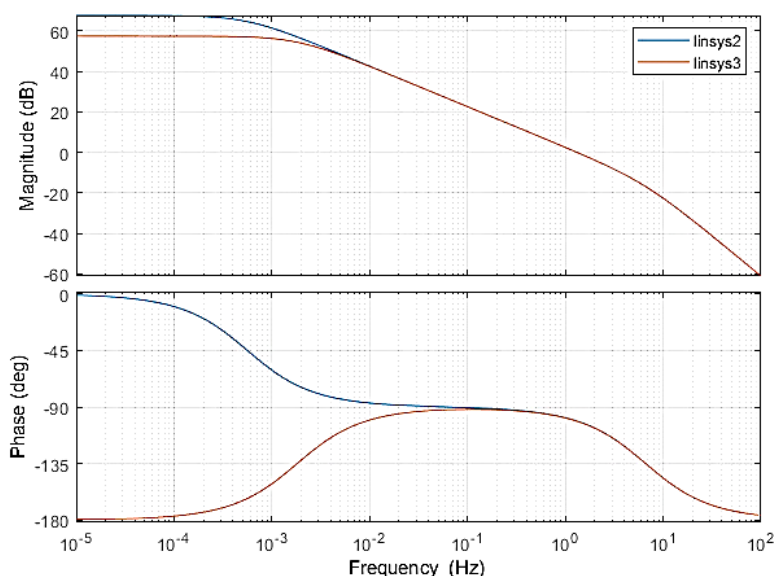


Рисунок 5 – Логарифмічно-частотні характеристики електропривода при наявності зворотніх зв'язків для моментів лінеаризації: $t = 1,57$ с (помаранчева крива) та $t = 1,58$ с (синя крива)

Отже, за характером форми логарифмічної фазочастотної характеристики замкненої системи можна оцінювати стійкість замкненої системи.

Висновки. Частотні характеристики лінеаризованих систем представляють собою поверхні другого порядку, додаткова координата відносно лінійних систем – це момент часу для якого проводиться процедура лінеаризації. Під час перехідного процесу розгону від нульової до робочої кутової швидкості електропривода димососа форма логарифмічної фазочастотної характеристики змінюється від дзвоноподібної до арктангенціальної (стає схожою на відповідну характеристику аперіодичної ланки другого порядку). Дзвоноподібна форма логарифмічної фазочастотної характеристики цієї замкненої системи свідчить про її нестійкість. Момент переходу фазочастотної характеристики замкненої системи від дзвоноподібної до арктангенціальної свідчить про те, що система знаходиться на межі стійкості.

Список використаних джерел

1. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.
2. Glad T., Ljung L. Control theory: Multivariable and nonlinear methods. – CRC Press LLC, 2000. – 482 p.
3. Nersesov S.G., Haddad W.M. On the stability and control of nonlinear dynamical systems via vector Lyapunov functions. – IEEE Transactions on Automatic Control, 2006, Vol. 51, Issue 2. – P. 203-215. DOI: 10.1109/TAC.2005.863496
4. Chen G. Stability of nonlinear systems. Encyclopedia of RF and microwave Engineering, Wiley, New York, 2024. P.4881-4896.
5. Levin A.U., Narendra K.S. Control of nonlinear dynamical systems using neural networks: controllability and stabilization. – IEEE Transactions on Neural Networks, 1996, Vol. 7, Issue 1. – P. 30-42. DOI: 10.1109/72.478390

6. Commuri S., Lewis F.L. CMAC neural networks for control of nonlinear dynamical systems: Structure, stability and passivity. *Automatica*. – Publ. Automatica, Elsevier, 1997, Vol. 33, Issue 4. – P. 635-641. [https://doi.org/10.1016/S0005-1098\(96\)00180-X](https://doi.org/10.1016/S0005-1098(96)00180-X)
7. Georgiou T.T. Differential stability and robust control of nonlinear systems. Publ. Springer, *Mathematics of Control, Signals and Systems*, 1993, Vol. 6. – P. 289–306.
8. Tanaka K., Yoshida H., Ohtake H., Wang H.O. A Sum-of-squares approach to modeling and control of nonlinear dynamical systems with polynomial fuzzy systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2009, Vol. 17, Issue 4. – P. 911 – 922. DOI: 10.1109/TFUZZ.2008.924341
9. Chiang H.-D., Hirsch M.W., Wu F.F. Stability regions of nonlinear autonomous dynamical systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2002, Vol. 33, Issue 1. – P. 16-27. DOI: 10.1109/9.357
10. Horowitz I., 1991, *Survey of Quantitative Feedback Theory (QFT)*. – *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 1991, Vol. 53(2). – P. 255–291.
11. Borghesani C., Chait Y., Yaniv, O. *Quantitative feedback theory toolbox users guide*. – The Math Works Inc., Natick, MA, 2003. – 148 p.
12. Пальчиков О.О. Дослідження вичерпності описання моделей типових судових електроприводів. XII International scientific and practical conference «Topical tendencies of science and practice». – Edmonton, Canada, December 07-10. 2021. – С. 562-567. DOI 10.46299/ISG.2021.II.XII.
13. Palani S. *Automatic control systems: With MATLAB*. – Springer; 2022. – 927 p.

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНА СЕКЦІЯ	3
Дюков В.О., Савицький М.С., Єрмоленко Б.О., Ушкаренко О.О. Використання мобільних роботизованих платформ у навчальному процесі	3
Вережаго Є.М., Джангаиров М.В., Єременко А.П. Моделювання імпульсного джерела живлення для електроплазмових технологій	5
Піряник А.Р., Дьяконов О.С. Принцип роботи та досвід експлуатації паливороздавальних колонок на прикладі «Шельф» серії 200	7
Стрункін Г.М. Аналіз режимів роботи електромеханічної системи автономної ВЕУ з АДМ на базі АГФР зі збудженням від інвертора напруги	11
СЕКЦІЯ 1. АВТОМАТИКА, ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ І ПРИСТРОЇ	15
Бойко Л.М., (керівник – Дьяконов О.С.). Система моніторингу та керування пристроями якості повітря	15
Крижановська О.Л. (керівник – Дьяконов О.С.). Реалізація системи нагляду за мікрокліматом приміщення за допомогою Arduino	19
Мосійчук К.С. (керівник – Дьяконов О.С.). Розробка мікроконтролерного зчитувача безконтактних RFID-карток	22
Трешнюк А.І., Солобута Л.В. Система автоматизованого управління житловим приміщенням MikroTik + Arduino	25
Трешнюк А.І. (керівник – Дьяконов О.С.). Використання роботів-маніпуляторів, виготовлених за допомогою 3D-друку, в освітньому процесі	27
Трешнюк А.І., (керівник – Трибулькевич С.Л.). Огляд та аналіз протоколів дистанційного радіокерування	29
Трибулькевич С.Л., Пілявський О.І. Система моніторингу локальної комп'ютерної мережі закладу освіти	31
Трибулькевич С.Л., Стужук І.І. Багатоканальна система збирання даних з ізоляцією каналів	35
Петрієнко О.О., Овсянников В.М. Загальні характеристики радіоелектронних засобів морських систем спостереження	37
Бондаренко К.А., Овсянников В.М. Стислий аналіз пристроїв систем охоронного сповіщення суден	40
Оглоблев О.В. Комп'ютеризована система керування електроприводами подач фрезерного верстата	45
Серго І.С. Система автоматичного керування приводами промислового маніпулятора	50
Топалов А.М. Особливості побудови сучасних мехатронних систем	55
СЕКЦІЯ 2. ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ	57
Вінниченко І.Л., Гончаренко В.М. Резонансні оберненоходові перетворювачі для безконтактної передачі електроенергії	57
Вережаго Є.М., Стогнієнко Є.В., Маслик В.С., Єременко А.П. Цифрове керування імпульсними джерелами живлення для плазмотронів: синтез та оптимізація	59
Обрубов А.В., Савіцкас О.С. Визначення квазістатичної моделі резонансного перетворювача з діодним випрямлячем	62
Пелипас В.В., Пілявський О.І., Єрмоленко Б.О., Ушкаренко О.О. Структурно-функціональна модель смугового фільтра для обробки аудіо сигналів	67
Білюк І.С., Савченко О.В., Льовкін В.С., Андрєєв П.С. Індукційний нагрівач для лабораторій на базі напівмостового інвертора	69
Соловйов Д.Г., Стужук І.І. Проектування помножувача напруги	71
СЕКЦІЯ 3. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ КОМПЛЕКСИ, ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ І АПАРАТИ	73
Сакутін Б.А., Овсянников В.М. Інноваційні зарядні рішення для електричних і гібридних суден: берегова станція ZPP700/ZPP850 Tower та бортова станція SWC200	73
Грудініна Г.С., Зінченко І.І., Морозов Р.Р. Сучасні принципи оптимізації роботи судових електростанцій	75
Кобилев С.Е., Чекунов В.К. Створення математичної моделі гребної електричної установки подвійного струму	78
Бистреєвський Ю.Є., Овсянников В.М. Аналіз характеристик тягових електроприводів легкових електрокарів	83
Папик В.О., Овсянников В.М. Робота судової електростанції в аварійних режимах	88
Новогорецький С.М., Костюченко В.І., Барішник Ю.М. Датчик активної потужності для трифазної мережі із можливістю відслідковувати низькочастотні коливання	91
Новогорецький С.М., Меліхов Д.С. Спрощена схема заміщення та магнітний розрахунок реактора із врахуванням нелінійності кривої намагнічування	94
Волянський Ю.С., Яценко В.С., Ковальчук М.С., Волянська Я.Б., Волянський С.М. Загальні проблеми побудови електрорушіїв та інших електромеханічних систем малих автономних плавальних апаратів	96
Пальчиков О.О., Гетманцева В.С., Черніков М.О. Огляд стохастичних моделей електричного розряду в однорідних середовищах	98
СЕКЦІЯ 4. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД	101
Васильєв О.Г., Смірнова І.М., Биков М.А. Дослідження системи керування електропривода автоматичної буксирної лебідки	101
Герасимов В.В., Грудініна Г.С. Сучасні тенденції в автоматизації електроприводів порталних кранів	105
Білюк І.С., Савченко О.В., Рачинський А.В., Чубчик М.С. Удосконалення системи керування вантажного насоса	106
Пальчиков О.О., Малиновський В.В. Визначення частотної характеристики лінеаризованого електропривода димососа	108

Наукове видання

АВТОМАТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА – 2024

ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ

20-21 листопада 2024 року

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, проспект Центральний, 3

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

(українською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск:
Комп'ютерна верстка:

О.О. Пальчиков
О.О. Пальчиков

Видавець Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
проспект Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54007

E-mail: publishing@nuos.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2506 від 25.05.2006 р.