

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ – 2023

МАТЕРІАЛИ

ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

5–6 квітня 2023 року

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

Миколаїв • НУК • 2023

УДК 681.5:621.3
С 89

ОРГАНІЗАТОРИ:

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Матеріали публікуються за оригіналами, наданими авторами.

Претензії до організаторів не приймаються.

Відповідальний за випуск А.В. Обрубов

Сучасні проблеми автоматички та електротехніки : матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2023. – 68 с.
С 89

У збірнику подані матеріали Всеукраїнської НТК "Сучасні проблеми автоматички та електротехніки".

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

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

УДК 681.5:621.3

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2023

ПЛЕНАРНА СЕКЦІЯ

УДК 681.629.12(045)

Скороходов В.А., к.т.н.

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

СУЧАСНИЙ СТАН КОМПЛЕКСНОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМИ ЗАСОБАМИ СУДЕН

Комплексна автоматизація технічних засобів суден є важливим напрямком розвитку морської техніки і технології та морегосподарського комплексу вцілому. Завдяки сучасним технологіям, таким як мікроелектроніка, комп'ютерна техніка та програмне забезпечення управління суднами може бути автоматизоване з високою точністю та ефективністю.

Метою роботи є аналіз сучасних систем комплексної автоматизації судової автоматики та технічних засобів суден, визначення основних напрямів їх розвитку.

Аналіз літератури показав, що **комплексна автоматизація технічних засобів суден** - це система, яка забезпечує автоматизоване управління технічними засобами на борту судна з використанням сучасних технологій. Вона включає в себе різні системи, які забезпечують контроль та управління різними параметрами судна, такими як швидкість, курс, глибина, енергопотреба тощо.

Одна з найважливіших систем у сучасній комплексній автоматизації технічних засобів суден - це *система управління судном (Ship Control System)*, яка включає в себе керування курсом, швидкістю, рулем, гвинтами, які забезпечують рух судна. Також до складу системи управління судном входять *системи контролю працездатності двигунів, системи моніторингу газів, системи контролю тисків та температур*. Іншою важливою системою комплексної автоматизації технічних засобів суден є *система безпеки судна (Ship Safety System)*, яка включає в себе системи пожежогасіння, системи контролю та попередження про затоплення, системи аварійного відключення електроенергії та інші. До складу комплексної автоматизації технічних засобів суден входять інші системи, наприклад, *системи енергозабезпечення (Power Management System), системи контролю та управління вантажопідйомністю (Cargo Management System), системи контролю та управління системами життєзабезпечення (Life Support System)* тощо [1-4]. Застосування систем комплексної автоматизації технічних засобів суден залежить від типу судна та його завдань.

Одними із важливіших є сучасні **системи автоматизації судових електроенергетичних систем (CAU CSEC)**, які включають в себе різноманітні компоненти, такі як сенсори, контролери, програмне забезпечення та інші, що забезпечують ефективне та безпечне управління електроенергетичною системою судна [5-7]. Важливий компонент CSEC - це *система керування енергетикою (Power Management System, PMS)*, яка відповідає за керування та розподіл електроенергії на борту судна. Система PMS включає в себе сенсори для вимірювання параметрів електромережі, програмне забезпечення для обробки цих даних та контролери, які регулюють роботу генераторів, перетворювачів, розподільчих панелей та інших пристроїв. Ця система дозволяє керувати всіма процесами енергозабезпечення на судні, включаючи генератори, трансформатори, акумуляторні батареї та інші електроустановки. Система PMS дозволяє оптимізувати роботу енергосистеми, зменшуючи споживання енергії та збільшуючи її ефективність. Іншою важливою системою автоматизації електроенергетичних систем суден є *система автоматичного розподілу електроенергії (Automatic Power Management System - APMS)*. Ця система забезпечує автоматичний розподіл електроенергії між всіма електроустановками на борту судна, включаючи освітлення, системи життєзабезпечення, системи навігації та інші. Система APMS дозволяє ефективно керувати електричним живленням на судні, зменшуючи споживання енергії та збільшуючи її ефективність.

До складу систем автоматизації електроенергетичних систем суден входять *системи моніторингу та контролю електроенергетичних систем (Energy Management System - EMS), системи автоматичного запуску та відключення генераторів, системи керування освітленням та системи енергозбереження, системи автоматичного відключення електрики при виявленні неполадок, системи захисту від перенапруги та перетоку струму*. Ці системи дозволяють в режимі реального часу контролювати та аналізувати різні параметри в тому числі, якості електроенергії.

Сучасні CSEC побудовані на базі різноманітних технологій та архітектур, таких як *розподілені системи керування (Distributed Control Systems, DCS), програмовані логічні контролери (Programmable Logic Controllers, PLC)* та інші. Застосування конкретної технології залежить від різних факторів, таких як розмір судна, складність електроенергетичної системи та вимоги до безпеки та ефективності.

Сучасні системи автоматичного управління судовими електроенергетичними системами (CAU CSEC) зазвичай базуються на комп'ютерних системах, що використовують програмні засоби для збору, аналізу та опрацювання даних з датчиків та вузлів, які забезпечують безперебійну роботу енергетичної системи судна.

Основні *функції*, які виконують CAU CSEC, включають в себе *контроль і управління електрогенераторами, вимикачами, перетворювачами, пристроями розподілу електроенергії та іншими складовими системами*. CAU CSEC забезпечують автоматичне включення/вимикання генераторів в залежності від потреб

енергосистеми судна, регулювання напруги, частоти та інших параметрів електричного струму, запобігають перевантаженню та перенапругам у системі. Крім того, САУ СЕЕС забезпечують автоматичне перемикання на резервні джерела живлення у випадку аварії або несправності основних генераторів.

Основними елементами системи автоматизації електроенергетичної системи судна є:

1. *Система управління електростанцією (Electric Power Management System)*. Ця система забезпечує автоматичний контроль та управління всіма складовими електроенергетичної системи на борту судна, включаючи генератори, розподільні трансформатори, електричні мережі, схеми зберігання електроенергії та інші елементи. Система моніторить ефективність енергоспоживання та регулює споживання електроенергії в залежності від потреб судна.

2. *Система автоматичного відключення електроенергії (Automatic Power Shutdown System)*. Ця система автоматично відключає пошкоджені електричні кільця або компоненти електроенергетичної системи, щоб запобігти подальшому поширенню пошкоджень та знизити ризик аварії.

3. *Система автоматичного запуску генераторів (Automatic Generator Starting System)*. Ця система забезпечує автоматичний запуск генераторів у випадку зменшення потужності електроенергетичної системи нижче заданого рівня. Система також контролює навантаження на генераторах та регулює їх потужність для забезпечення найефективнішої роботи електроенергетичної системи судна.

4. *Система керування електродвигунами (Electric Motor Control System)*. Ця система забезпечує автоматичне керування роботою електродвигунів на борту.

Один з прикладів суден зі САУ СЕЕС є судно "Queen Elizabeth" компанії Cunard Line. Це судно має трьохгенераторну енергетичну систему із загальною потужністю 60 МВт, що включає в себе автоматичну систему керування та моніторингу вищезгаданих компонентів системи. Система автоматичного управління судновою електроенергетичною системою на цьому судні дозволяє економити електричну енергію та забезпечувати безперебійну роботу системи в умовах найвищої ефективності.

Сучасні системи автоматичного управління судновими електроенергетичними системами (САУ СЕЕС) будуються на основі елементів ІЕМК (інтегральних електронних мікросхем), ПЛІС (програмованих логічних інтегральних схем), мікроконтролерів та комп'ютерів зі спеціальними програмними засобами для керування енергетичними процесами. Для забезпечення мережевої зв'язності та забезпечення передачі даних використовуються протоколи мережевого зв'язку, такі як CAN (Controller Area Network), Ethernet, Modbus.

Також, у складі САУ СЕЕС застосовуються сучасні елементи безпеки та захисту, такі як автоматичні вимикачі, пристрої захисту від перенапруги та переструму, системи автоматичного регулювання напруги та частоти, системи автоматичного запуску та аварійного зупину дизель-генераторів, системи контролю параметрів електроенергетичних мереж тощо.

Прикладами суден, на яких встановлені сучасні САУ СЕЕС, є наступні:

- Контейнеровоз *MSC Oscar* (Швейцарія)
- Круїзний лайнер *Harmony of the Seas* (США)
- Танкер *Emma Maersk* (Данія)
- Сейшельське рейсове судно *Silhouette* (Сейшелі)
- Вантажне судно *Ever Given* (Панама)

Сучасні **комплексні системи інформації та контролю** на судах надають операторам широкий спектр інформації про різні аспекти їх роботи, включаючи стан електроенергетичної системи, паливний режим двигунів, погодні умови, положення судна та багато іншого. Ці системи забезпечують надійний та ефективний контроль за судном та дозволяють операторам приймати вчасні та правильні рішення.

Комплексна система інформації та контролю на сучасних судах складається з таких компонентів, як:

1. *Система автоматичного контролю суднових машин* - система, що контролює роботу двигунів судна, включаючи керування їх швидкістю.

2. *Система автоматичного контролю електроенергії* - система, що контролює стан електроенергетичної системи на судні та забезпечує її надійну та ефективну роботу.

3. *Система автоматичного контролю навігації* - система, що контролює положення та шлях судна, включаючи контроль за курсом та швидкістю.

4. *Система автоматичного контролю пожежі та безпеки* - система, що контролює стан систем пожежогасіння та безпеки на судні.

5. *Система моніторингу погодних умов* - система, що надає інформацію про погодні умови на маршруті судна, що дозволяє операторам приймати рішення про оптимальний маршрут та планування руху судна.

6. *Система моніторингу вантажів* - система, що контролює рух та розміщення вантажів на судні.

Комплексна система інформації та контролю на сучасних судах забезпечує моніторинг, контроль та керування різними системами та обладнанням на судні. Система є важливою для забезпечення безпеки судна та ефективної експлуатації його обладнання.

Основні функції комплексної системи інформації та контролю на сучасних судах включають:

1. *Моніторинг та контроль систем безпеки на судні*, таких як системи протипожежного захисту, системи відкачування води, системи безпеки плавання та інші.

2. *Керування системами навігації та комунікації на судні* такі, як системи GPS, радіо та супутникову зв'язку.

3. *Моніторинг та контроль енергетичної системи на судні*, включаючи електрогенератори, системи живлення та ін.

4. *Моніторинг та контроль системи управління двигунами на судні*, включаючи керування швидкістю та напрямком руху судна.

5. *Моніторинг та контроль системи обробки води на судні*, включаючи системи очистки води та системи відкачування стічних вод.

6. *Моніторинг та контроль системи клімат-контролю на судні*, включаючи системи кондиціонування повітря та системи опалення.

Комплексна система інформації та контролю на сучасних суднах зазвичай включає в себе різноманітні сенсорні пристрої, які забезпечують моніторинг стану обладнання та систем на судні, інформаційні екрани для відображення поточних даних та інші елементи, які забезпечують комунікацію між різними системами та операторами.

Системи автоматичного управління судновими дизель-генераторами (ДГ) використовуються для автоматизації процесу підтримання електроенергії на судні [8]. Основна функція таких систем - забезпечення надійного та економічного функціонування електрогенеруючої установки на судні. Для цього вони здійснюють автоматичний контроль та регулювання параметрів ДГ, включаючи напругу, частоту, температуру та інші параметри, забезпечуючи максимальну ефективність та економію палива.

Системи автоматичного управління судновими ДГ використовуються різних типів, в залежності від їх функціональності та складності. Основні компоненти такої системи включають:

1. *Контролер генератора (Generator Control Unit, GCU)* - пристрій, що контролює параметри генератора, такі як напруга та частота. Він також може контролювати інші параметри, такі як температура, тиск та витрати палива.

2. *Контролер ДГ (Engine Control Unit, ECU)* - пристрій, що контролює параметри ДГ, такі як швидкість обертання, тиск масла, температуру та інші параметри, що впливають на роботу ДГ. Він здійснює регулювання параметрів ДГ, таких як рівень палива та повітря.

3. *Контролер комутації (Switchgear Control Unit, SCU)* - пристрій, що керує комутацією електричних схем, включаючи перемикання між генераторами та мережею, включення та відключення навантаження та ін.

4. *Система диспетчерського управління (Power Management System, PMS)* - програмне забезпечення, що контролює роботу усіх компонентів системи автоматичного управління.

Системи автоматичного управління дизель-генераторами на суднах є важливою складовою сучасних енергетичних систем. Ці системи забезпечують ефективне та надійне функціонування дизель-генераторів, що забезпечує стабільність енергетичної системи судна. Основні функції систем автоматичного управління дизель-генераторами на суднах включають:

1. *Автоматичний запуск та зупинка ДГ* згідно з потребами енергоспоживачів на судні.

2. *Автоматичний контроль та захист* від перевантаження, перенапруги, низького рівня мастила, надмірної температури і тиску масла, відсутності води в системі охолодження, інших несправностей.

3. *Регулювання напруги, частоти та потужності* в залежності від потреб енергоспоживачів на судні.

4. *Автоматичний балансуювання навантаження* між ДГ.

5. *Дистанційне керування та моніторинг* в режимі реального часу.

6. *Збір та аналіз даних для підтримки діагностики та планування* технічного обслуговування.

Системи автоматичного управління дизель-генераторами виготовляються на базі різних апаратних засобів, але зазвичай вони включають такі компоненти, як контролери, сенсори, приводи, механізми перемикання, акумулятори, інтерфейси зв'язку та програмне забезпечення. Вони можуть бути зібрані на базі промислових контролерів з програмуванням на базі ПЛК, які забезпечують зв'язок між дизель-генераторами та системою керування енергетичною системою судна. Ці системи можуть бути обладнані засобами дистанційного моніторингу та діагностики, що дозволяє віддалено контролювати стан дизель-генераторів та швидко реагувати на можливі проблеми.

Одним з прикладів суден, на яких застосовуються сучасні автоматичні регулятори дизелів, є судно *MSC Oscar* - найбільший контейнеровоз у світі. Це судно має 11 дизель-генераторів MAN B&W 11S90ME-C9.2, кожен з яких оснащений автоматичними регуляторами MAN B&W MC Engine Control System. Ці регулятори забезпечують точну регулювання роботи двигунів відповідно до вимог навантаження та режиму роботи судна. Іншим прикладом є судно *Emma Maersk* - найбільший контейнеровоз у світі на момент його побудови. Це судно має 14 дизель-генераторів MAN B&W 14K98MC-C, кожен з яких оснащений автоматичними регуляторами MAN B&W MC Engine Control System.



Контейнеровоз *MSC Oscar* (Швейцарія).



Судно "Queen Elizabeth" компанії Cunard Line

Сучасними комплексними системами автоматичного управління є системи на сучасній елементній базі, які вироблені фірмами: *Kongsberg Maritime, Raytheon Anschutz, Wärtsilä, ABB Marine, Navis Engineering, Sperry Marine* тощо.

Висновки. Наведений аналіз сучасного стану комплексної автоматизації технічних засобів суден показує суттєві їх переваги перед аналогом КСУ «Залив – М» [9].

Для порівняння сучасних комплексних систем автоматизації технічних засобів суден з КСУ "Залив-М" можна використати наступний підхід:

1. Провести огляд сучасних комплексів автоматизації технічних засобів суден, які застосовуються у світі, та порівняти їх з КСУ "Залив-М". Наприклад, проаналізувати ступінь автоматизації систем управління, функціональні можливості, точність та швидкість обробки даних, надійність та енергоефективність.

2. Проаналізувати переваги та недоліки КСУ "Залив-М" в порівнянні із сучасними комплексами автоматизації технічних засобів суден. Наприклад, КСУ "Залив-М" має обмежені можливості та є менш ефективною в порівнянні із сучасними комплексами, що використовують новітні технології, але можна стверджувати, що КСУ "Залив-М" більш проста у використанні та менш витратна. КСУ "Залив-М" має певні переваги в області місцевого управління системами технічного обслуговування, проте він вже застарілий та не може конкурувати із сучасними комплексами автоматизації, які мають більш широкі можливості та є енергоефективнішими.

3. Дослідити розвиток сучасної комплексної автоматизації технічних засобів суден, включаючи новітні технології та рішення. Наприклад, комплексна автоматизація може включати сучасні моніторингові системи, системи безпеки, системи енергозбереження, системи керування паливом та ін.

4. Запропонувати можливі шляхи модернізації КСУ "Залив-М", які дозволять збільшити його функціональні можливості та покращити енергоефективність.

Список використаних джерел

1. Vfrine Automation: A Comprehensive Guide to Shipboard Automation and Control System / John Lingwood. 2012. – 384 p.
2. Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles / Thor I. Fossen. 2002. – 416 p.
3. Автоматизація технічних засобів суден: Навчальний посібник/ В.М. Шинкаренко та О.О. Моргуна. – К.: Вид-во «Наукова думка». 2008. – 320 с.
4. Ship Automation for Marine Engineers and Electro-Technical Officers"/ Alexandr Yakimchuk. 2016 – 264p.
5. Marine Electrical and Electronics Bible / John C. Payne. 2007. – 528 p.
6. Practical Marine Electrical Knowledge / Dennis T. Hall. 2014. – 224 p.
7. Marine Engineering: Principles and Practice, Volume 2: Marine Engineering Applications / Dr. K. M. Kanaiyah. 2017. – 472 p.
8. Електронні системи управління дизель-генераторними установками суден / І.О. Коновалова, В.В. Литвиненка, О.В. Литвиненка – Одеса: Вид-во "Одеський національний морський університет". 2015. – 178 с.
9. Справочник по настройке судовой полупроводниковой автоматики / Г.Д. Лясковский, В.М. Рябенский, В.А. Скороходов. Под ред. В.А. Скорохова – Л.: Судостроение, 1991. – 112 с.

УДК 681.51

*Горбов В.Ю.**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв***ОСОБЛИВОСТІ РОБАСТНО-ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РУХОМ КВАДРОКОПТЕРА ПО ТРАЄКТОРІЇ З ПЕРЕШКОДАМИ**

Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), зокрема квадрокоптерів, із запрограмованими траєкторіями є актуальною областю дослідження для сучасної науки, тому що знаходить практичне застосування в різних галузях, включаючи промисловість, комерцію, безпеку, розваги та ін. Наприклад, дрони можуть бути використані для доставки товарів та проведення рекламних заходів, моніторингу посівних угідь, контролю за врожаєм та обприскування рослин, для проведення різних заходів та шоу, таких як світлові та звукові, кінотворництва та багато інших, а також для рятувальних, правоохоронних та військових потреб [1-3]. Використання квадрокоптерів майже в усіх перелічених галузях пов'язане з такими основними проблемами як можлива недостатня точність управління, недостатня стабільність у польоті, нездатність уникнення перешкод, проблеми з енергоспоживанням, проблеми у справній роботі електромеханічних частин [4], складність роботи в умовах з поганою навігацією. Маневрування по заданій траєкторії потребує високої точності керування, потреба достатнього запасу працездатності та проблема обмежених енергоресурсів потребує використання якісних електронних та механічних компонентів, а також енергоефективних алгоритмів керування. До вимог оптимальності, додаються також вимоги робастності, так як системи керування рухом квадрокоптера необхідно також враховувати випадковий вплив неконтрольованих (невимірних) дії на об'єкт керування, наприклад, вітру. В свою чергу, для автономних польотів однією з найважливіших вимог стає здатність виявлення та уникнення перешкод. Стає необхідною розробка систем уникнення зіткнень з перешкодами, здатних забезпечувати безпечне керування у тривимірному просторі.

Мета роботи: аналіз особливостей робастно-оптимального керування квадрокоптером та зокрема сучасних методів управління рухом по траєкторії в умовах виникнення перешкод, а також визначення основних напрямків подальших досліджень та розробки або вдосконалення методів керування рухом квадрокоптера по траєкторіях з уникненням перешкод.

Зазвичай квадрокоптери управляються за допомогою ПІД-регулятора [5]. ПІД-регуляторам властиві робастні риси через наближене налаштування параметрів моделі, реагування на помилку та компенсації невизначеного збурення [6]. Проте через високі витрати енергії, вагомої чутливості до впливу параметричних шумів, появи інтегрального насичення та складність налаштування параметрів ПІД-регулятора при збільшенні кількості керованих змінних продовжується пошук більш ефективних систем управління. Формуючи вимоги до процесу управління або так звану бажану (оптимальну) траєкторію руху об'єкта, управління ґрунтується на вирішенні зворотних завдань динаміки з точністю, що забезпечує дотримання критеріїв робастності [7]. Оптимальність в даному випадку відповідає потребам необхідності у зменшенні енергетичних витрат за умови обмежених ресурсів або бажаної швидкодії перехідних процесів системи керування. Таким чином спочатку створюється повна математична модель динаміки об'єкту керування з урахуванням інформації про навколишнє середовище. Потім відбувається синтез робастного контуру, а той час як синтез оптимального керування відбувається за допомогою класичного варіаційного обчислення, формування та вирішення багатовимірних крайових задач з функціями Лагранжа, або за допомогою використання рівняння Ріккати для критерію мінімуму витрат енергії [8]. До синтезу робастно-оптимальних систем можливо підійти, наприклад, використовуючи метод з використанням зворотних зв'язків із змінною структурою. Такий метод включає в себе наступні етапи: планування програмованої оптимальної траєкторії, визначення часів перемикання керуючих функцій у підсистемах зворотного зв'язку керованого об'єкта, етап синтезу функцій керування у відповідних підсистемах зворотного зв'язку об'єкта [9].

Для руху за програмованою траєкторією використовуються певні принципи її формування, такі як: формування програмованої траєкторії з використанням поліноміальних форм та формування за допомогою експоненціальних форм [10]. Процес формування спрощується за допомогою обмеження лише першими членами ряду поліноміального представлення. Це також облегшує подальший синтез керування. Вимоги до оптимальності процесу керування, тип керування, значення граничних умов та обмеження на керуючий вплив виступають основними критеріями в формалізації виду поліноміальної траєкторії. Універсальним способом завдання граничних умов є точки фазових траєкторій: рух до заданої точки в просторі, рух по послідовності точок заданої траєкторії або сукупність точок допустимої області [10].

Для навігації та руху мультикоптера в реальних умовах необхідним є розширене планування шляху та алгоритми уникнення перешкод. Всі системи уникнення перешкод для рухомих об'єктів розділяють загальні риси: функція локалізації перешкоди, яка може бути рухомою або нерухомою та функція уникнення зіткнення з перешкодою. Таким чином, основними етапами техніки уникнення зіткнення будуть: «зондування (місцевості) та виявлення (перешкод)» і «механізми уникнення та маневрування» [11]. Кожний етап має свої фактори

проектування: тип середовища в якому рухається об'єкт, тип перешкод та їх поведінка, границі сканування місцевості та тип використовуваного БПЛА.

Багато технік та методів уникнення зіткнень, які були досліджені та розвинуті за останні роки, в основному створювалися для застосування в двовірному просторі, але можуть бути розширені до тривимірного простору. З найбільш важливих методів можна відзначити геометричні, оптимізованої траєкторії, потенційного простору, метод гістограм векторного простору [12].

Методи, які засновані на геометричному підході (геометричні методи) прості та ефективні, здійснюються повне моделювання руху та траєкторій транспортного засобу, одночасно з перешкодами. Для цього потрібно знати параметри БПЛА та перешкоди: положення, курс, швидкість. Складність застосування в вимогах до вхідних даних, треба знати багато конкретних параметрів руху перешкоди, присутня чутливість до шумів, так як використовуються точні розрахунки. Застосування таких методів в тривимірному середовищі значно ускладнить розрахунки та вплине на точність методу [12].

Метод оптимізованої траєкторії дозволяє розрахувати траєкторію з найменшим відхиленням від вихідної траєкторії руху. Цей метод дуже зручний для статичних перешкод. Для найкращої оптимізації шляху необхідно зібрати інформацію про перешкоди: розмір, точне положення, швидкість та напрям руху. Якість застосування методу напряму залежить від функціонування датчиків. Крім того, процес оптимізації потребує деякого часу та певної потужності процесору. Ці два фактори є вагомими обмеженнями для будь-якого БПЛА, але результати оптимізованої траєкторії представляють значний інтерес для систем керування.

Тому цей підхід має велике значення, особливо для вивчення та дослідження.

Методи потенційного поля (PFM – Potential Field Method) використовують фізичні концепції: наприклад, контрольні точки шляху розглядаються як сила тяжіння, а перешкоди як сила відштовхування. Безпечні траєкторії можливо визначити за допомогою електростатичних рівнянь: шлях, який має найменшу щільність потоку стає новим шляхом для БПЛА. Загальний шлях для обчислення сил у певному положенні за допомогою

змінної x виглядає наступним чином [13]:

$$F_x = F_{att(x)} + F_{rep(x)}$$

$$F_{att(x)} = -k_{att}(x - x_{des})$$

$$F_{rep(x)} = \begin{cases} k_{rep} \left(\frac{1}{\rho(x)} - \frac{1}{\rho_0} \right) \frac{1}{\rho(x)^2} \frac{x - x_{obs}}{\rho(x)} & \text{if } \rho(x) \leq \rho_0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

У якому $\rho(x)$ представляє відстань до перешкоди, ρ_0 представляє відстань на якій починається вплив, а k_{att}

і k_{rep} визначають загальну силу впливів. Формула функції потенціалу для тривимірного простору [14]:

$$U = A + B,$$

в якій

$$A = K_1((x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2)^a,$$

$$B = K_2 \sum_{i=1}^n \frac{1}{((x - x_{s_i})^2 + (y - y_{s_i})^2 + (z - z_{s_i})^2 - r_{s_i}^2)^b},$$

де K_1 та K_2 – пропорційні константи, (x_0, y_0, z_0) – координати цілі, (x, y, z) – координати коптера, $(x_{s_i}, y_{s_i}, z_{s_i})$ – координати центрів перешкод, r_{s_i} – радіус сфери перешкоди (за умови припущення, що перешкода довільної форми береться у вигляді сфери відповідного радіусу).

Проблемами методів потенційних полів є, наприклад, сідлові точки та локальні мінімуми, які можуть виникнути під час генерації динамічного потенційного поля. Це може призвести до втрати керування або загрози зіткнення. Існує висока необхідність врахування динамічних обмежень літака та врахування становище. В іншому випадку це може викликати некоректні команди керування [15]

Метод гістограм векторного поля (VFH – Vector Field Histogram) долає обмеження методу потенційних полів: мінімізується залежність від неточної інформації датчиків, а відсутність сил притягання та відштовхування усуває ймовірність потрапляння в локальні мінімуми. Метод має декілька розширень, наприклад, VFH+, який враховує розміри об'єкта керування, використовує бінарну полярну гістограму замість гістограми полярної густини а також враховує модель руху об'єкту керування, що дозволяє видалити шляхи-кандидати, які не враховують динамічні обмеження транспортного засобу. На його основі було створено удосконалену тривимірну версію 3DVFH+ [16]. Для застосування використовується октокарта (Octomap) – імовірний каркас тривимірного картографування на основі октодерев [17]. Цей метод вважається дійсно ресурсозатратним: він витрачає багато часу на обчислення кращої з можливих траєкторій. Через те, що метод був розроблений в якості двовимірного підходу до проблеми уникнення зіткнення, то його поширення до тривимірного простору накладає на нього деякі труднощі в реалізації.

Висновки. Розвиток та застосування БПЛА, зокрема квадрокоптерів, зараз є актуальною темою. Сучасні БПЛА знаходять багато галузей цивільних та військових застосувань. Але в цій сфері залишаються проблеми, які потребують більш глибокого аналізу та вирішення: точність управління, стабільність у польоті, уникнення перешкод, енергоспоживання, залежність від вибору електромеханічних частин (в тому числі сенсорів). Точність, стабільність та ефективне енергоспоживання повинні забезпечуватися використанням відповідних систем керування, таких як під-регулятори або робастно-оптимальні системи. Розробка систем корегування траєкторії в умовах з виникненням перешкод – важлива задача для автономної навігації та автономних систем керування.

Наявні методи уникнення перешкод в тривимірному просторі мають потенціал для модифікації, поліпшення ефективності та все ще потребують необхідних додаткових експериментальних досліджень. Зокрема вагомий інтерес для досліджень представляють методи оптимізованої траєкторії та метод гістограм векторного поля для синтезу оптимально-робастного керування рухом квадрокоптера по траєкторії з уникненням перешкод.

Список використаних джерел

1. Theory, Design, and Applications of Unmanned Aerial Vehicles || Historical Aspects of Unmanned Aerial Vehicles, Authors: Jha, A. R., DOI: 10.1201/9781315371191-2, Year: 2016, Volume: 10.1201/9781315371191
2. Theory, Design, and Applications of Unmanned Aerial Vehicles || Unmanned Aerial Vehicles for Military Applications, Authors: Jha, A. R., DOI: 10.1201/9781315371191-3, Year: 2016, Volume: 10.1201/9781315371191
3. K. W. Weng, Abidin M.S.B, "Design and Control of a Quad-Rotor Flying Robot For Aerial Surveillance," 4th Student Conference on Research and Development. Malaysia, pp.173-177, June 2006
4. Theory, Design, and Applications of Unmanned Aerial Vehicles || Electro-Optical, Radio-Frequency, and Electronic Components for Unmanned Aerial Vehicles Authors: Jha, A. R. DOI: 10.1201/9781315371191-4 Year: 2016
5. P. Salaskar, S. Paranjpe, J. Reddy, and A. Shah, "Quadcopter – Obstacle Detection and Collision Avoidance," *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 17, no. 2, pp. 84–87, 2014
6. Kada, Belkacem, and Y. Ghazzawi. "Robust PID controller design for an UAV flight control system." *Proceedings of the World congress on Engineering and Computer Science*. Vol. 2. No. 1-6. 2011
7. Bianchi, D.; Di Gennaro, S.; Di Ferdinando, M.; Acosta Lúa, C. Robust Control of UAV with Disturbances and Uncertainty Estimation. *Machines* **2023**, *11*, 352. <https://doi.org/10.3390/machines11030352>
8. Larin, V.B.: On Inversion of the Problem of Analytical Designing the Controllers. In: *Intern. Journal of Automation and Information Sciences*, NY, Begell house inc., vol. 36, issue 1, pp. 11–18 (2004) DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v36.i1.20
9. Timchenko, V.L., Lebedev, D.O., Optimization of Processes of Robust Control of Quadcopter for Monitoring of Sea Waters. In: *Journal of Automation and Information Sciences*, NY., Begell house, vol. 51, issue. 2, pp. 1–10 (2019) <https://doi.org/10.1615/JAutomatInfScien.v51.i2.10>
10. Timchenko, Victor. (2022). OPTIMIZATION OF PROGRAMMED TRAJECTORIES OF MOVING OBJECT'S STABILIZATION BASED ON CONTROL SYSTEMS OF VARIABLE STRUCTURE. 67. 61-76. 10.34229/2786-6505-2022-3-5
11. Cruz, Gonçalo & Encarnação, Pedro. (2012). Obstacle Avoidance for Unmanned Aerial Vehicles. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. 65. 203-217. 10.1007/s10846-011-9587-z
12. Erika Mai, Obstacle Detection and Avoidance Techniques for Unmanned Aerial Vehicles. Rel. Giorgio Guglieri, Gianluca Ristorto. Politecnico di Torino, Corso di laurea magistrale in Ingegneria Aerospaziale, 2020
13. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots. Khatib, Oussama. 1, s.l. : The International Journal of Robotics Research, 1986, Vol. 5, pp. 90-98
14. S. Ranade and P. V. Manivannan, "Quadcopter Obstacle Avoidance and Path Planning Using Flood Fill Method," 2019 2nd International Conference on Intelligent Autonomous Systems (ICoIAS), Singapore, 2019, pp. 166-170, doi: 10.1109/ICoIAS.2019.00036

15. UAV trajectory design using total field collision avoidance. Sigurd K., How J. Austin, TX, USA: In Proceedings of the AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, August 2003
16. Vanneste S., Bellekens B., Weyn M. 3DVFH+: Real-Time Three-Dimensional Obstacle Avoidance Using an Octomap // MORSE 1st International Workshop on Model-Driven Robot Software Engineering. – 2014. – Vol. 1319
17. OctoMap: An efficient probabilistic 3D mapping framework based on octrees / Hornung A., Wurm K.M., Bennewitz M. and etc. // Autonomous Robots. – 2013. – Vol. 34, №. 3. – P. 189-206

УДК 681.51

Верещаго Є.М., Костюченко В.І., к.т.н., доцент

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

СИНТЕЗ ЗАКОНУ КЕРУВАННЯ ДЛЯ ТРАНЗИСТОРНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА НАПРУГИ, ЩО ПРАЦЮЄ НА ПЛАЗМОВУ ДУГУ

Завдання оптимізації загальноновизнано є одним із найважливіших розділів керування. На жаль, застосування багатьох методів оптимізації для вирішення прикладних завдань зустрічає значні труднощі математичного та обчислювального характеру.

Інша справа у разі оптимізації систем за методом зворотних зв'язків, які структурно перемикаються [1].

Процедури конструювання алгоритмів синтезу керування з урахуванням цього методу в даний час розвинені для порівняно вузького класу керованих об'єктів [2]. Тому подальша розробка цього напрямку представляє відомий теоретичний та практичний інтерес. Саме це завдання обговорюватимемо далі.

Якщо сформовані вимоги до керованого процесу і призначено вигляд бажаних траєкторій руху, то закони керування можна знайти в результаті виконання алгебраїчних операцій, які впливають з методу [1, 2]. Знайдені таким чином регулятори будуть оптимальними по відношенню до певних функціоналів [1, 2].

У статті розглядається завдання побудови алгоритму керування об'єктом, який вказаний вище.

Синтез керування за методом зворотних зв'язків, які структурно перемикаються. Система регулювання струму дуги при природних спрощуючих припущеннях [3] описується рівнянням

$$(\tau s + 1)x = k_0 u + f, \quad s = d / dt, \quad (1)$$

де k_0 – коефіцієнт посилення розімкнутого контуру струму (незмінюваної частини); τ – постійна часу ланцюга навантаження. Тут x – струм дуги (вихід об'єкта), u – керування, f – характеризує зміну навантаження (напруга навантаження – зовнішній вплив). Далі символ s , залежно від контексту, використовується як символ перетворення Лапласа при нульових початкових умовах. В коефіцієнт посилення k_0 включаються коефіцієнти передачі силової частини, датчика струму і широтно-імпульсного модулятора (ШИМ-2) [3].

У рамках аналізованого методу рівняння об'єкта замість (1) при $f(t) \equiv 0$ запишемо в змінних стану

$$dx / dt = ax + bu, \quad (2)$$

де $a = -1 / \tau$; $b = k_0 / \tau$.

Коефіцієнти a , b відомі; вони можуть бути постійними або функціями часу, наприклад, $a^- \leq a(t) \leq a^+$. Тут a^- і a^+ – постійні та відомі величини. Для більшої наочності подальших результатів вважатимемо, що параметри, які характеризують динамічні властивості системи, мають постійні значення.

Рівняння моделі керованого процесу приймаємо у вигляді (2). Нехай у початковий час стан об'єкта характеризується значеннями

$$x(0) = x_0 = 0, \quad \dot{x}(0) = \dot{x}_0 = 0.$$

Відповідно до методики, розробленої в [1], схема розв'язання задачі наступна. Задамо спочатку рівняння оптимальної фазової траєкторії

$$x(t_n) = x(0) + \dot{x}(0)t_n + \ddot{x}(0)\frac{t_n^2}{2}, \quad (3)$$

$$x(T) = x(t_n) + \dot{x}(t_n)(T - t_n) - \ddot{x}(0)\frac{(T - t_n)^2}{2}, \quad (4)$$

де t_n , T – момент перемикання керуючої функції та час переходу відповідно. При цьому похідна за t позначається, як завжди, \dot{x} . Диференціюючи за часом вирази (3) та (4), отримаємо

$$\dot{x}(t_n) = \dot{x}(0) + \ddot{x}(0)t_n,$$

$$\dot{x}(T) = \dot{x}(t_n) - \ddot{x}(0)(T - t_n) .$$

Потім, вважаючи відомими початкові та кінцеві умови з рівнянь можна знайти

$$t_n = \frac{1}{2} T ,$$

$$\ddot{x}(0) = \frac{1}{t_n^2} .$$

Стосовно системи (2) задачу формулюємо наступним чином: потрібно синтезувати закон керування при якому рух системи з точки (x_0, \dot{x}_0) до призначеної кінцевої точки $x(T) = x_T = 1, \dot{x}(T) = \dot{x}_T = 0$ проходить по траєкторії заданої рівняннями (3), (4) за час T . Вимагатимемо при цьому, щоб у процесі керування інтеграл набув мінімального значення (*infimum*)

$$E_u = \int_0^T u^2(t) dt \rightarrow \inf ,$$

де T – час перебігу динамічного процесу.

Згідно з (2) похідна за часом

$$\ddot{x}(t) = a\dot{x}(t) + b\dot{u}(t) = a^2 x(t) + (a + s)bu(t) .$$

Дотримуючись [1], керування, що реалізують рух по призначеній траєкторії (3), (4), будуватимемо за співвідношеннями

$$a^2 x(t) + (a + s)bu(t) = \ddot{x}_0 ,$$

$$a^2 x(t) + (a + s)bu(t) = -\ddot{x}_0 .$$

Піддаючи ці рівняння перетворенню Лапласа, отримаємо

$$a^2 X(s) + (a + s)bU(s) = \ddot{x}_0 , \tag{5}$$

$$a^2 X(s) + (a + s)bU(s) = -\ddot{x}_0 . \tag{6}$$

Зауважуючи тепер, що на підставі теореми диференціювання оригіналу

$$L\{\dot{u}(t)\} = sL\{u(t)\} - u(0) ,$$

де $u(0)$ – початкове значення $u(t)$ при $t = 0$, запишемо (5), (6) у вигляді

$$a^2 X(s) + (a + s)bU(s) - bu(0) = \ddot{x}_0 ,$$

$$a^2 X(s) + (a + s)bU(s) - bu_n(0) = -\ddot{x}_0 .$$

Вирішуючи лінійні алгебраїчні рівняння щодо $U(s)$, знаходимо шукані керування, що виконують поставлене завдання,

$$U_1(s) = \frac{\ddot{x}_0 - a^2 X(s) + bu(0)}{b(a + s)} ,$$

$$U_2(s) = \frac{-\ddot{x}_0 - a^2 X(s) + bu_n(0)}{b(a + s)} . \tag{7}$$

Практична реалізація закону керування (7) не викликає труднощів. Структурна схема контуру керування, що відповідає (7), наведено на рис. 1.

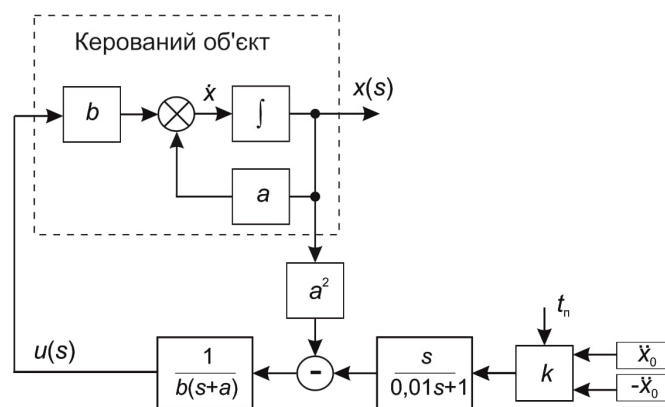


Рисунок 1 – Структурна схема контуру керування

Дослідження властивостей системи. Як приклад розглядатимемо об'єкт з наступними параметрами [3]: $\tau = 625 \cdot 10^{-6}$ с, $k_0 = 12,81$. За таких параметрів коефіцієнт $a = -1 / \tau = -1600$ с⁻¹, а $b = k_0 / \tau = 20496$ с⁻¹.

Приймаючи $T = 0,33 \cdot 10^{-3}$ с, отримаємо $t_n = 0,165 \cdot 10^{-3}$ с, $\ddot{x}(0) = 36730946$ с⁻².

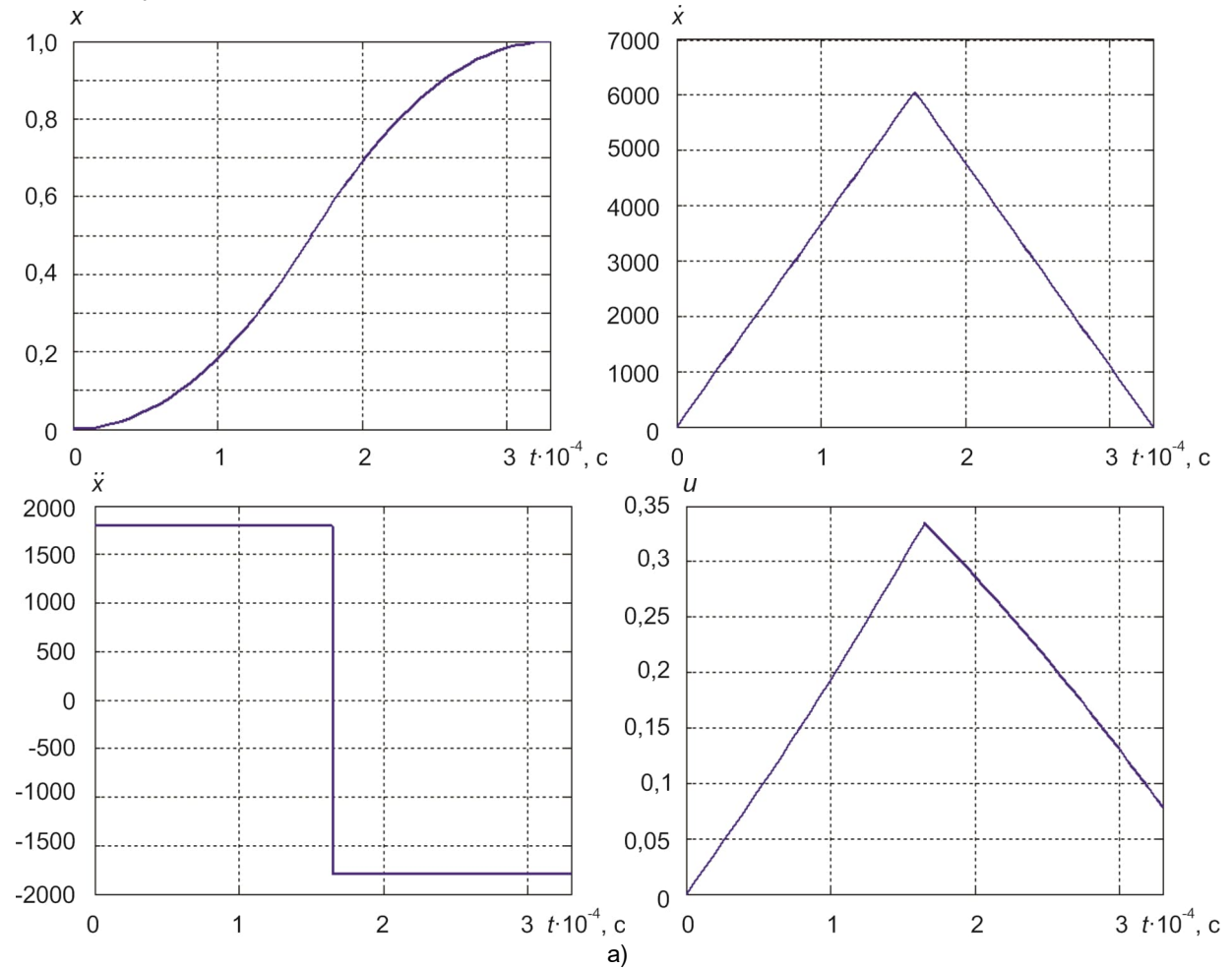
Необхідні початкові значення керуючих функцій під час руху об'єкта із заданими початковими умовами визначаються з наступних співвідношень

$$u(0) = \frac{\dot{x}(0) - ax(0)}{b} = 0,$$

$$u_n(0) = \frac{1}{b} \left(\ddot{x}(0)t_n - a\ddot{x}(0)\frac{t_n^2}{2} \right) =$$

$$= \frac{1}{20496} \left[36730946 \cdot 0,165 \cdot 10^{-3} + 1600 \cdot 36730946 \cdot \frac{(0,165 \cdot 10^{-3})^2}{2} \right] = \frac{1}{20496} \cdot (6060,606 + 800) = 0,33473 .$$

Графіки, що характеризують перебіг процесу, зображені на рис. 2. Перехідний процес у системі практично закінчується за заданий час $T = 0,33 \cdot 10^{-3}$ с.



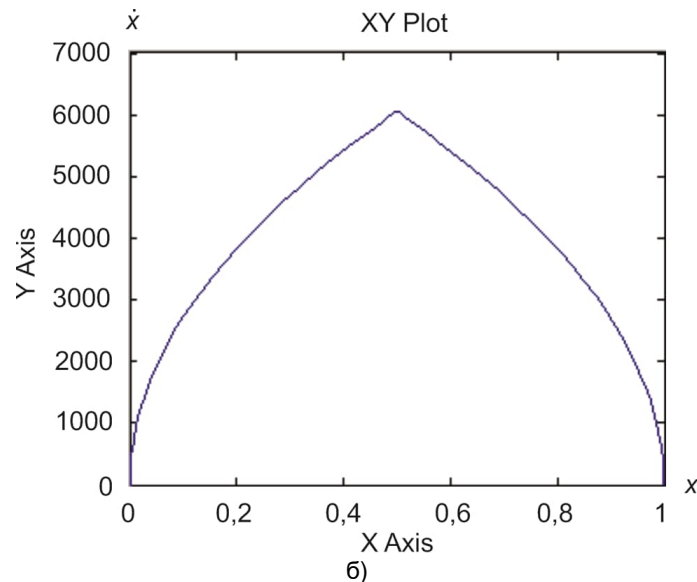


Рисунок 2 - Залежності координати x , швидкості \dot{x} , прискорення \ddot{x} , керуючого впливу u (а) та фазова траєкторія (б)

Наведемо порівняльний аналіз типового регулятора [4] і регулятора за методом зворотних зв'язків, що перемикаються (рис. 3).

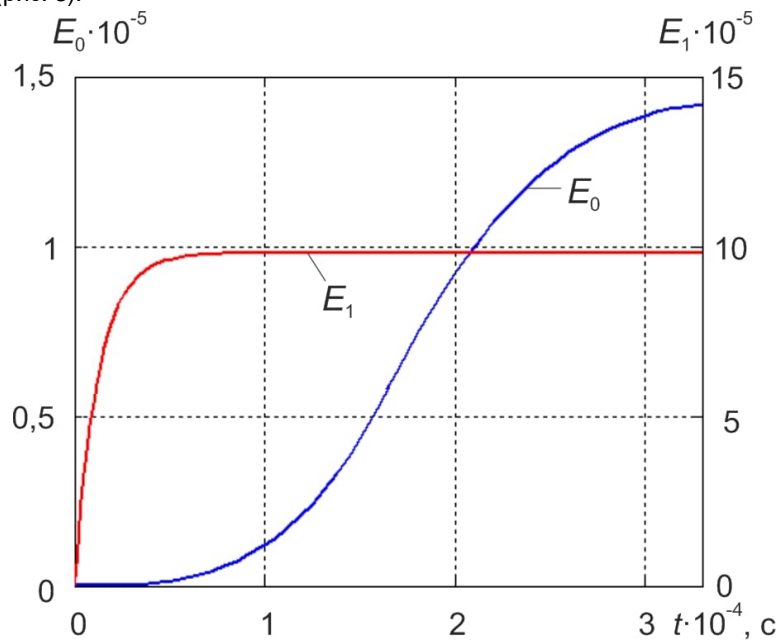


Рисунок 3 – Залежності енергії керування перетворювача для оптимізованого ПІД-регулятора (E_1) та системи зі змінною структурою зворотних зв'язків (E_0)

Отже, функціонал у класі оптимізованих ПІД-регуляторів дорівнює $J_1 = 9,667 \cdot 10^{-5} \text{ В}^2 \cdot \text{с}$, а в класі регуляторів зі зворотними зв'язками, які структурно перемикаються $J_0 = 1,419 \cdot 10^{-5} \text{ В}^2 \cdot \text{с}$. Виграш за рахунок використання останнього замість оптимального лінійного регулятора становить $\frac{\delta J}{J_0} = \frac{J_1 - J_0}{J_0} = 5,81 = 581\%$.

Висновки. 1. Отриманий результат має не лише теоретичне, а й цілком певне практичне значення, яке полягає в наступному: для відшукування регуляторів не потрібно вирішувати матричні рівняння або варіаційні граничні завдання. 2. У системі з регулятором, розрахованим за методом зворотних зв'язків, що перемикаються, перехідний процес повністю відповідає заданим вимогам, у тому числі і тривалості. 3. Необхідна керуюча дія такого регулятора в кілька разів менша, ніж у оптимізованого ПІД-регулятора.

Висловлюємо подяку професору Тимченку В.Л. за допомогу у постановці завдання, її вирішенні та підтримку.

Список використаних джерел

1. Тимченко В.Л. Оптимальное управление линейным объектом на основе метода структурно-переключаемых обратных связей [Текст] / В.Л. Тимченко // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ", 2009. – № 13. – С. 167-178.

2. Тимченко В.Л. Алгоритмические процедуры синтеза систем переменной структуры для управления морскими подвижными объектами [Текст] / В.Л. Тимченко, Д.О. Лебедев // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2017. – № 4. – С. 201-207.

3. Моделювання схем джерел електроживлення зварювальної дуги в *MATLAB / Simulink* / Є.М. Верещаго, В.І Костюченко // Електротехніка та електроенергетика. – 2021. – №3. – С. 8 – 20. DOI: 10.15588/1607-6761-2021-3-1

4. Французова Г.А. Сравнительный анализ возможностей типовых регуляторов и регуляторов по методу локализации [Текст] / Г.А. Французова, Е.П. Толстоконева, Н.Ю. Шилкова // Автоматика и программная инженерия. 2015, №1(11). С 29-34.

УДК 681.5:621.3.07

Черно О.О., д.т.н., Нікуліна А.О.

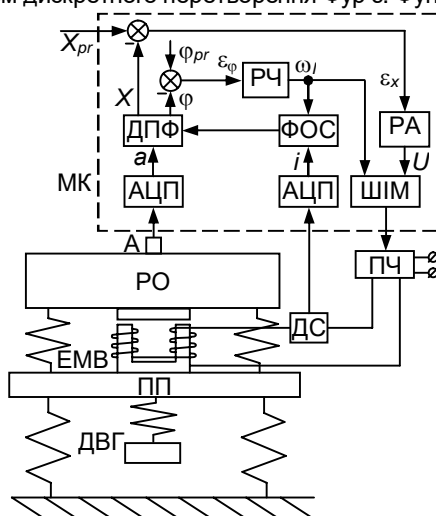
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ШЛЯХИ РОЗВИТКУ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМИ ВІБРАЦІЙНИМИ ПРИВОДАМИ

Автоматичне керування електромагнітними вібраційними приводами здійснюється для регулювання параметрів вібрації з метою забезпечення бажаного протікання технологічних процесів [1]. Керування амплітудою коливань зазвичай використовується у вібраційних конвеєрах, підйомниках і живильниках для регулювання швидкості транспортування речовин [2]. Керування частотою застосовується для налаштування коливальної системи на резонанс, або на частоту, близьку до резонансної, з метою забезпечення найбільшої енергетичної ефективності [2]. Тому, задачам розробки систем автоматичного керування вібраційними пристроями з електромагнітним приводом присвячено багато наукових досліджень. Але, на сьогоднішній день залишаються нерозв'язаними багато задач, пов'язаних із аналізом та синтезом таких систем.

Метою роботи є аналіз сучасних систем автоматичного керування електромагнітними вібраційними приводами та визначення основних напрямів їх розвитку.

В роботах [3, 4] розглянуто цифрові системи, що автоматично налаштовують частоту коливань на резонанс вібраційної установки і одночасно здійснюють керування амплітудою вібрації за принципом зворотного зв'язку. В обох системах для керування частотою використовується фазова автопідстройка. В системі [3] сигналом зворотного зв'язку є фазовий зсув між електромагнітною силою та вібраційним переміщенням, а в [4] – різниця фаз між 3-ю та 1-ю гармонічними складовими струму. Амплітуди та фази струму та переміщень визначаються методом дискретного перетворення Фур'є. Функціональні схеми цих систем наведені на рис. 1, 2.



РО – робочий орган віброустановки;
 ПП – проміжна платформа;
 ДВГ – динамічний віброгасник;
 ЕМВ – електромагнітний вібратор;
 А – акселерометр;
 ДС – датчик струму;
 МК – мікроконтролер;
 АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
 ФОС – формувач опорних сигналів;
 ДПФ – блок дискретного перетворення Фу-
 р'є;
 РЧ – регулятор частоти;
 РА – регулятор амплітуди;
 ШІМ – широтно-імпульсний модулятор;
 ПЧ – перетворювач частоти.

Рис. 1. Функціональна схема системи автоматичного керування електромагнітним вібраційним приводом зі зворотним зв'язком за фазовим зсувом між електромагнітною силою та вібраційним переміщенням [3]

– скласти функціональну схему системи керування та алгоритм її роботи, що буде передбачати визначення різниці фаз між основною гармонікою вібрації та імпульсами напруги живлення за допомогою дискретного перетворення Фур'є;

- скласти математичну та імітаційну моделі системи керування;
- виконати числове моделювання роботи системи, визначити показники якості керування;
- розробити принципову електричну схему та керуючу програму;
- виготовити та налагодити систему керування, провести експериментальні дослідження.

Список літератури

1. Чубик Р.В., Ярошенко Л.В. Керовані вібраційні технологічні машини. Вінниця: ВНАУ. 2011. 355 с.
2. Despotovic Z., Ribic A. The increasing energy efficiency of the vibratory conveying drives with electromagnetic excitation. International Journal of Electrical and Power Engineering. 2012. №6 (1). P. 38 – 42.
3. Chernov A.A. Control of resonant electromagnetic vibrational drive using a digital filtering algorithm based on discrete fourier transform. Journal of Automation and Information Sciences, Vol. 46, 2014. Issue 7. Pp. 53 – 68. DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v46.i7.50
4. Chernov A.A. Control of electromagnetic vibratory drive using a phase difference between current harmonics. Journal of Automation and Information Sciences. Vol. 49, 2017. Issue 7, pp. 58 – 76.
5. Chernov O.O., Hurov A.P., Ivanov A.V. Energy characteristics of the electromagnetic vibration drive with pulse power supply of vibrator coils. Технічна електродинаміка. 2023. №2. С. 53 – 61. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2023.02.053>

УДК 621.317

*Александровський С.Ю., Бандура С.І., Жук Д.О., к.т.н., Новогрецький С.М., к.т.н.
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАСИВНИХ ЧОТИРИПОЛЮСНИКІВ

При вивченні предметів зі спеціальності „Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” часто виникає необхідність користуватись поняттями гармонік періодичного несинусоїдального сигналу та частотних характеристик об'єктів дослідження. Так, наприклад, маємо поняття гармонік розподілу намагнічуючої сили або магнітного потоку в повітряному зазорі електричних машин змінного струму та в насиченій магнітній системі статичного перетворювача електроенергії [1, 2]. В цьому випадку вищі гармоніки призводять до пониження енергоефективності роботи електричних машин і мають буди конструктивним шляхом зменшені до мінімуму. Крім того, при вивченні теоретичних основ електротехніки студентам надається поняття про розрахунок електричних кіл при несинусоїдальних періодичних у часі напругах та струмах джерел енергії, який ґрунтується на методі накладання та сумування результатів окремих розрахунків електричних кіл від кожної гармоніки джерела енергії [3]. З іншого боку кожний електротехнічний пристрій у деякому діапазоні робочих режимів може бути представлений у вигляді чотириполюсника з лінійними характеристиками, в якому взаємозалежність вихідних та вхідних струмів і напруг визначаються на кожній частоті постійними коефіцієнтами [4]. Так як будь-який вхідний періодичний сигнал розкладається в ряд Фур'є на гармонічні складові, виникає можливість за частотними характеристиками передбачити форму та характеристики вихідного сигналу, що може бути застосовано при аналізі електронних схем або електротехнічних пристроїв (наприклад, з розподіленими параметрами). Не можна обійти стороною і теорію автоматичного керування, що ґрунтується на понятті амплітудних і фазових частотних характеристик елементів систем автоматики [5]. Таким чином, розуміння поняття частотних характеристик електротехнічних пристроїв та гармонік електричних сигналів є однією з основних складових програми підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю „Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”.

Метою роботи є ознайомлення із результатами розробки та впровадження лабораторного стенду „Вимірювання частотних характеристик пасивного чотириполюсника” в рамках навчальної дисципліни „Основи метрології та електричних вимірювань”.

Теоретичне обґрунтування досліджень, що проводяться в лабораторній роботі

Ділянка електричного ланцюга, яка має два вхідні 1-1' й два вихідні 2-2' полюси (затискачі), називається чотириполюсником. Вони широко використовуються в електричних колах як постійного, так і змінного струму. Чотириполюсник, який складається з пасивних елементів (R , L , C), називається пасивним. Активні чотириполюсники мають внутрішні некомпенсовані джерела електроенергії. До активних чотириполюсників відносяться різні підсилювачі, схеми, що містять джерела енергії, і т.п. Пасивними чотириполюсниками є трансформатори, лінії електропередач, пасивні фільтри й інші.

Чотириполюсник характеризується залежностями між вхідними (\dot{U}_1 , i_1) та вихідними (\dot{U}_2 , i_2) комплексними напругами та струмами, що описуються у вигляді шести матричних залежностей, коефіцієнти яких (z -, y -, a -, h -, g - параметри) є характеристиками чотириполюсника [3, 4]:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \dot{z}_{11} & \dot{z}_{12} \\ \dot{z}_{21} & \dot{z}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{y}_{11} & \dot{y}_{12} \\ \dot{y}_{21} & \dot{y}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{h}_{11} & \dot{h}_{12} \\ \dot{h}_{21} & \dot{h}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix}; \\ \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{U}_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \dot{g}_{11} & \dot{g}_{12} \\ \dot{g}_{21} & \dot{g}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{a}_{11} & \dot{a}_{12} \\ \dot{a}_{21} & \dot{a}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Коефіцієнти повністю визначаються параметрами схеми чотириполюсника та можуть бути визначені шляхом аналізу роботи схеми у режимі холостого ходу або короткого замикання. При цьому схема чотириполюсника може бути як завгодно складною, або взагалі невідомою. Наприклад, для форми запису залежності через a -параметри маємо:

в режимі холостого ходу (струм $\dot{I}_2 = 0$)

$$\dot{U}_1 = \dot{a}_{11} \dot{U}_2; \quad \dot{I}_1 = \dot{a}_{21} \dot{U}_2, \quad \text{звідки} \quad \dot{a}_{11} = \dot{U}_1 / \dot{U}_2; \quad \dot{a}_{21} = \dot{I}_1 / \dot{U}_2;$$

в режимі короткого замикання (струм $\dot{U}_2 = 0$)

$$\dot{U}_1 = \dot{a}_{12} \dot{I}_2; \quad \dot{I}_1 = \dot{a}_{22} \dot{I}_2, \quad \text{звідки} \quad \dot{a}_{12} = \dot{U}_1 / \dot{I}_2; \quad \dot{a}_{22} = \dot{I}_1 / \dot{I}_2.$$

Будь-який чотириполюсник характеризується передавальною функцією, яка являє собою відношення вихідних однойменних параметрів до вхідних: $\dot{k}_u = \dot{U}_2 / \dot{U}_1 = k_u \cdot e^{j\varphi_u}$ (комплексний коефіцієнт передачі напруги), $\dot{k}_i = \dot{I}_2 / \dot{I}_1 = k_i \cdot e^{j\varphi_i}$ (комплексний коефіцієнт передачі струму).

У загальному випадку коефіцієнти чотириполюсника є функціями частоти ω . Залежності модулів комплексних коефіцієнтів передачі $k_u(\omega)$ та $k_i(\omega)$ являють собою амплітудно-частотні чотириполюсники (скорочено АЧХ), а залежності їх фаз від частоти $\varphi_u(\omega)$ та $\varphi_i(\omega)$ – фазочастотними характеристиками (скорочено ФЧХ) чотириполюсника.

В електротехніці дуже поширене перетворення електричних сигналів, які через певні проміжки часу повторюються. Такі сигнали називаються періодичними та можуть бути представлені у вигляді ряду Фур'є, тобто нескінченного числа доданків виду $b_n \cos(\omega n t)$ і $c_n \sin(\omega n t)$, де n – ціле число (номер гармоніки), що змінюється від 1 до $+\infty$, а b_n та c_n – коефіцієнти ряду. В цьому випадку ряд Фур'є називається тригонометричним, а обчислення такого ряду часто називають розкладом на гармоніки.

Математично розклад періодичної функції $f(t)$ в тригонометричний ряд Фур'є можна записати наступним чином

$$\begin{aligned} f(t) &= b_0 + b_1 \cos(\omega t) + c_1 \sin(\omega t) + b_2 \cos(2\omega t) + c_2 \sin(2\omega t) + \dots + \\ &+ b_n \cos(n\omega t) + c_n \sin(n\omega t) + \dots = b_0 + \sum_{n=1}^{+\infty} (b_n \cos(n\omega t) + c_n \sin(n\omega t)). \end{aligned}$$

Коефіцієнти ряду визначаються за формулами

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} f(\alpha) d\alpha; \quad b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) \cos(n\omega t) dt = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} f(\alpha) \cos(n\alpha) d\alpha; \\ c_n &= \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) \sin(n\omega t) dt = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} f(\alpha) \sin(n\alpha) d\alpha, \end{aligned}$$

де $\alpha = \omega t$ – кутова змінна, а фактично фазовий зсув функції періодичного електричного сигналу відносно початку координат, рад.; $\omega = 2\pi f$ – кутова частота функції $f(t)$, рад / с; $f = 1 / T$ – циклічна частота сигналу $f(t)$ або частота першої (основної) гармоніки, Гц; T – період сигналу, с.

Для сигналу прямокутної форми маємо

$$f_n(t) = \begin{cases} -U_m, & \text{якщо } -T/2 < t < 0; \\ U_m, & \text{якщо } 0 < t < T/2, \end{cases}$$

де U_m – амплітудне значення сигналу за період.

Підставимо $f_n(t)$ в формули для визначення коефіцієнтів:

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f_n(t) dt = -\frac{1}{T} \int_{-T/2}^0 U_m dt + \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_m dt = 0; \\ b_n &= \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f_n(t) \cos(n\omega t) dt = -\frac{1}{T} \int_{-T/2}^0 U_m \cos(n\omega t) dt + \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_m \cos(n\omega t) dt = 0; \\ c_n &= \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f_n(t) \sin(n\omega t) dt = -\frac{2}{T} \int_{-T/2}^0 U_m \sin(n\omega t) dt + \frac{2}{T} \int_0^{T/2} U_m \sin(n\omega t) dt = \frac{2U_m}{\pi n} (1 - \cos(n\pi)) = \frac{4U_m}{\pi k}, \end{aligned}$$

де $n = 1, 2, 3, 4, \dots$; $k = 2n - 1 = 1, 3, 5, 7, \dots$; $\omega T = 2\pi$.

Таким чином, прямокутний сигнал розкладається на непарні гармоніки синусних складових:

$$f_n(t) = \frac{4U_m}{\pi} \sum_{k=1,3,5}^{+\infty} \frac{\sin(k\omega t)}{k}.$$

Якщо в нас є частотні характеристики пасивного чотириполюсника (параметри якого не залежать від амплітуди вхідного сигналу) та форма вхідного сигналу $f_n(t)$, можна передбачити форму вихідного сигналу, розклавши вхідний сигнал на тригонометричні складові ряду Фур'є. За принципом суперпозиції вихідний сигнал буде складатись із тих самих гармонік, що діють на вхід чотириполюсника, але видозмінених у відповідності до амплітудної та фазової частотних характеристик. Наприклад, якщо розглядати режим холостого ходу чотириполюсника, при вхідному прямокутному періодичному сигналі $f_n(t)$, на виході чотириполюсника будемо мати напругу:

$$f_{\text{вих}}(t) = \frac{4U_m}{\pi} \sum_{k=1,3,5}^{+\infty} \frac{k_u(k\omega) \sin(k\omega t - \varphi_u(k\omega))}{k}. \quad (1)$$

Амплітудна і фазова частотні характеристики пасивного чотириполюсника в режимі холостого ходу можна досить легко визначити за допомогою цифрового осцилографа, якщо подавати на вхід синусоїдальну напругу заданої амплітуди та частоти. За допомогою осцилографа вимірюється амплітуда вихідного та вхідного сигналів, а також різниця фаз між ними. Співвідношення напруг відповідає модулю комплексного коефіцієнту передачі k_u , а різниця фаз дорівнює фазі комплексного коефіцієнту передачі φ_u . Змінюючи частоту, отримуємо залежності модулю та фази від частоти: $k_u(\omega)$ та $\varphi_u(\omega)$.

Результати розробки та використання лабораторного стенду.

На рис.1 представлена схема установки. Генератор сигналів G1 (SIGLENT SDG1000) використаний для подачі вхідної напруги для чотириполюсника A1, в якості якого використана обмотка без сердечника трансформатора TC-180-2. Напруга на вході та на виході чотириполюсника вимірюється за допомогою осцилографа A3 (SIGLENT SDS1102DL).

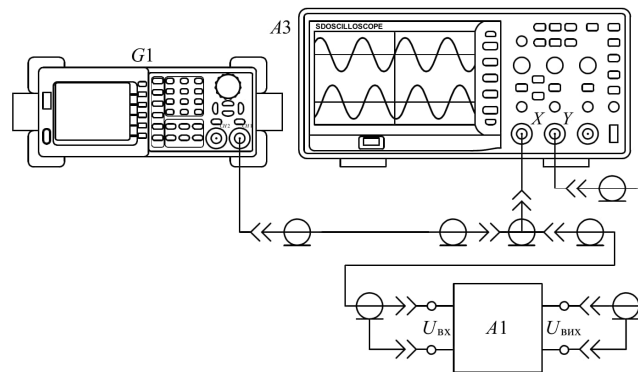


Рисунок 1 - Схема лабораторної установки

При виконанні лабораторної роботи пропонується задавши на вході чотириполюсника напругу прямокутної форми з амплітудою від 1 В до 3 В та частотою від 5 кГц до 20 кГц (параметри напруги задаються викладачем), зняти осцилограми вхідного та вихідного сигналу. На рисунку 2 наведений приклад прямокутної напруги частотою 12 кГц та амплітудою 2 В, а також відповідної вихідної напруги чотириполюсника. Як бачимо спостерігається значне спотворення вхідної кривої.

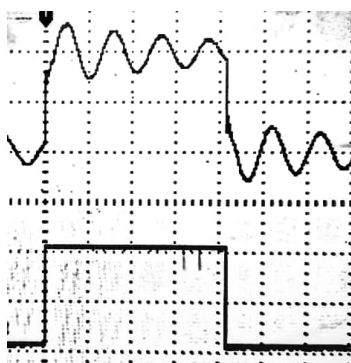


Рисунок 2 – Осцилограми напруг на чотириполюснику

Далі пропонується визначити амплітудно-частотну та фазочастотну характеристики пасивного чотириполюсника в режимі холостого ходу. Для цього задаємо на вході чотириполюсника напругу синусоїдальної форми амплітудою від 1 В до 3 В із частотою f_1 розглянутого раніше прямокутного сигналу. За допомогою осцилографа визначаємо амплітудні значення вхідної $U_{\text{вх}}$ та вихідної $U_{\text{вих}}$ напруг, а також зсув фаз φ_u між ними. Задаючись за допомогою генератора сигналів синусоїдальними напругами із кратними основній частотами $f_n = n f_1$ ($n = 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21$), повторюємо вимірювання та розраховуємо паралельно модуль комплексного коефіцієнту передачі k_u .

Результати вимірювань для чотириполюсника у вигляді обмотки трансформатора TC-180-2 представлені в таблиці 1.

Використовуючи отримані частотні характеристики, будемо графік залежності від часу вихідної напруги пасивного чотириполюсника у відповідності до функціональної залежності (1), отриманої шляхом розкладу вхідного прямокутного сигналу в тригонометричний ряд Фур'є. Отримані результати представлені на рисунку 3. З порівняння розра-

хункових результатів із тими, що були отримані, шляхом осцилографування, зазначаємо їх високу збіжність навіть при використанні лише 11-ти ненульових гармонік.

Таблиця 1 – Результати визначення частотних характеристик пасивного чотириполюсника

№ дослі- ду	Номер гармоніки n	Частота сигналу f	Вхідна напруга $U_{pвх}$	Вихідна напруга $U_{pвих}$	Різниця фаз φ_u	k_u	ω
		кГц	В	В	град		рад / с
1	1	12	3,92	3,92	0	1	$7,54 \cdot 10^4$
2	3	36	3,92	4,32	0	1,102	$2,262 \cdot 10^5$
3	5	60	3,92	5,12	4	1,306	$3,77 \cdot 10^5$
4	7	84	3,92	10,8	19	2,755	$5,278 \cdot 10^5$
5	9	108	3,92	1,7	144	0,434	$6,786 \cdot 10^5$
6	11	132	3,92	1,1	13	0,281	$8,294 \cdot 10^5$
7	13	156	3,92	1,7	5	0,434	$9,802 \cdot 10^5$
8	15	180	3,92	1,92	0	0,49	$1,131 \cdot 10^6$
9	17	204	3,92	2,12	0	0,564	$1,282 \cdot 10^6$
10	19	228	3,92	2,24	0	0,571	$1,433 \cdot 10^6$
11	21	252	3,92	2,32	0	0,592	$1,583 \cdot 10^6$

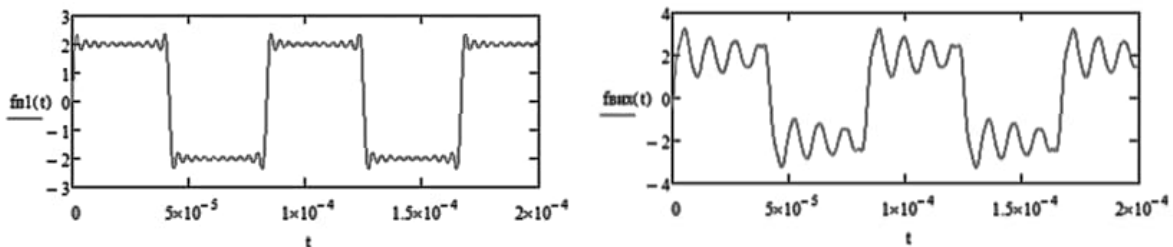


Рисунок 3 – Результати розрахунку вхідної (а) та вихідної (б) напруг чотириполюсника за 11-ма першими ненульовими гармоніками вхідного сигналу

Висновки. 1. Запропонована схема лабораторного стенду по дослідженню частотних характеристик пасивного чотириполюсника із застосуванням цифрового осцилографу. 2. Стенд пропонується використовувати в навчальному процесі для розширення розуміння понять частотних характеристик та гармонік сигналів на прикладі їх наочного використання при визначенні вихідної напруги пасивного чотириполюсника при заданій несинусоїдальній періодичній вхідній напрузі. 3. Отримані дослідні результати дозволяють говорити про високу точність розглянутої методики отримання кривою вихідної напруги.

Список використаних джерел

1. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов. СПб.: Питер, 2007. – 350 с.
2. Забудский Е.И. Математическое моделирование управляемых электромагнитных реакторов: монография. М.: ООО «Мегаполис», 2018. – 355 с.
3. Маляр В.С. Теоретичні основи електротехніки. Електричні кола: навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 312 с.
4. Бабаєв М.М. Лінійні електричні кола пристроїв автоматики та зв'язку: Підручник. / М.М. Бабаєв, М.Г. Давиденко, Г.І. Загарій, Ю.В. Соболев. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – 285 с.
5. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. К.: Либідь, 2007. – 656 с.

УДК 621.3.08

Топалов А.М., канд. техн. наук, доцент, Поворознюк О.С., Роботько С.П.

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

ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ СЕРВОДВИГУНІВ МОБІЛЬНОГО РОБОТА

Інтелектуальні підходи, що засновані на моделюванні роботизованих систем з урахуванням обмежень на енергоспоживання є актуальними сьогодні. Для підвищення енергоефективності в системах керування використовуються різноманітні технічні рішення, які пов'язані: зі зміною режимів роботи перетворювачів, раціональним вибором структури живлення робота, застосуванням високоефективних автоматичних регуляторів, тощо. Тому на етапі проектування мобільного робота слід звернути увагу на енергоспоживання виконавчих механізмів, так як даний тип робототехніки характеризується вбудованим джерелом живлення.

Об'єктом дослідження, в даному випадку, є мобільний робот LEGO MINDSTORMS EV3, який є диференціальним транспортним засобом із двома серводвигунами та одним опорним колесом. Серводвигуни під'єднані до коліс В і С відповідно, а опорне колесо, представляє собою шар, що здатний провертатися у різні напрямки. Кожен серводвигун побудовано на колекторному двигуні постійного струму з редуктором і має можливість вимірювати кількість власних обертів відповідним датчиком. Електричні параметри кожного серводвигуна є наступними: напруга живлення – 9 В, струм холостого ходу – 60мА, струм навантаження гальмування – 1,8 А.

Даний мобільний робот був оснащений мікропроцесорною системою контролю енергоспоживання серводвигунів (рис. 1), що забезпечує вимірювання параметрів струму і напруги в процесі руху робота, а також розраховує спожиту потужність його двигунами. Схема складається з двох вимірювальних блоків, плати Arduino Nano та рідкокристалічного індикатора. Плата Arduino Nano і операційний підсилювач LM358 вимірювального блоку живляться від батареї мобільного робота Vcc через регулятор напруги LM7805, який видає стабілізовану напругу +5 В.

Кожний вимірювальний блок складається з дільника напруги на двох резисторах для вимірювання значення напруги і шунтового резистора з неінвертованим операційним підсилювачем для вимірювання сили струму [1]. Вимірювальна напруга може коливатися від 0 В до 9 В, але за допомогою дільника вона перетворюється на напругу діапазону 0-5 В, що сприймається платою Arduino. Визначення струму навантаження здійснюється через шунтовий резистор, так як мікроконтролер може зчитувати тільки аналогові значення напруги. Падіння напруги на шунтовому резисторі і буде пропорційним значенням струму, що протікає по ньому. Для збільшення значення падіння напруги на шунтованому резисторі застосовується операційний підсилювач LM358.

Мікропроцесорна система контролю енергоспоживання серводвигунів працює наступним чином. Під час експлуатації мобільного робота його серводвигуни змінюють свої електричні параметри в залежності від навантаження. Еквівалентні значення струму і напруги через вимірювальні блоки потрапляють на АЦП-входи плати Arduino Nano, після чого оброблюються програмою з відповідним розрахунком потужностей. Обчислені дані струму, напруги і потужності передаються на рідкокристалічний індикатор 16x2, що дозволяє оператору мобільного робота зафіксувати ті чи інші електричні параметри в процесі руху робота.

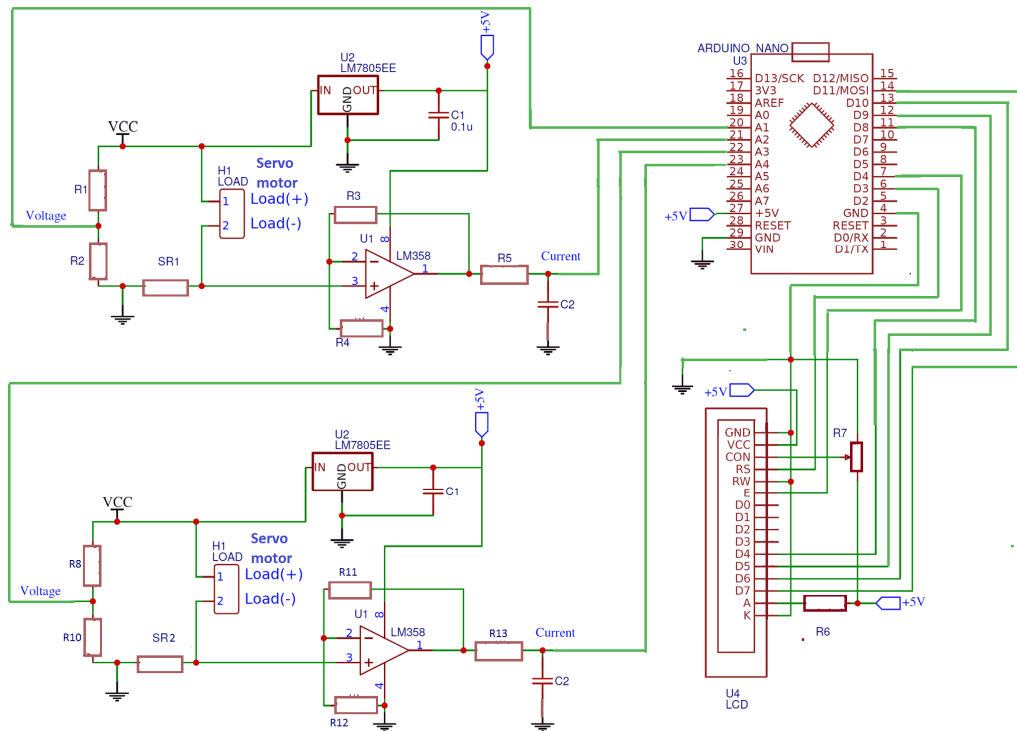


Рис. 1. Принципова електрична схема системи контролю енергоспоживання серводвигунів мобільного робота

Висновки. Використовуючи можливості платформи Arduino можна покращити функціонал запропонованої системи при наступних дослідженнях – виводити вимірювані значення на екран комп'ютера, будувати їх графік, зберігати значення на SD карту, давати звукові та світлові сигнали при різних ситуаціях функціонування робота (наприклад, коли значення напруги та струму вийдуть за межі допустимих значень).

Список використаних джерел

1. О. М. Воробйова, В. Д. Іванченко. Основи схемотехніки: підручник. – [2-е вид.]. – Одеса: Фенікс, 2009. – 388 с.

УДК 681.314

*Обрубов А.В., к.т.н., доцент**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв***ВЛАСТИВОСТІ РЕЗОНАНСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЯК КЕРОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Області застосування резонансних перетворювачів розширюють і доповнюють традиційні області використання високочастотної перетворювальної техніки [1-5]. Вони використовуються в таких технічних задачах, як: створення високоефективних джерел живлення апаратури, високовольтних джерел живлення, в індукційних безконтактних зарядних системах, в індукційному нагріві, в джерелах живлення дугових або газорозрядних процесів, створення інверторів для освітлення, джерел живлення для машин лазерного різання, ультразвукових генераторів тощо.

Метою роботи є визначення характерних особливостей резонансних перетворювачів, які впливають на поведінку керованих зовнішніми сигналами або напругою живлення резонансних перетворювачів.

Відомими є основні **переваги резонансних перетворювачів** в порівнянні з нерезонансними перетворювачами, які обумовлюють їх застосування для вирішення вищезазначених технічних задач:

- Високий ККД завдяки зменшеним комутаційним втратам [1,2,3].
- Можливості для підвищення робочих частот і зменшення масогабаритних показників [3,4].
- Низький рівень електромагнітних перешкод (англ. EMI) завдяки близьким до гармонічних коливанням напруг і струмів в силових ланцюгах і звуженню спектру генерованих ними перешкод в порівнянні з процесами жорсткої комутації в нерезонансних перетворювачах [5].
- М'які природні зовнішні характеристики, завдяки чому полегшуються питання захисту від перевантажень і забезпечуються сприятливі умови використання резонансних перетворювачів в зарядних пристроях ємнісних накопичувачів ГІН і ГІТ.
- Резонансне підвищення амплітуд коливань струмів та напруг контурів, завдяки чому полегшується досягнення високих напруг в навантаженні.
- Компенсація паразитних реактивних параметрів високовольтних трансформаторів та індукторів за рахунок взаємного віднімання ємнісного та індуктивного опорів.

М'яке перемикання силових ключів. Процес комутації вважається оптимальним (м'яким) за нульової напруги при вмиканні ключа (комутація в нуля напруги, англ. ZVS) і нульового струму при вимиканні ключа (комутація в нулі струму, англ. ZCS). Наприклад, квазірезонансні перетворювачі, використовують резонансні явища для поліпшення комутаційних процесів і істотного зменшення втрат при перемиканні. У літературі вони класифікуються як перетворювачі з м'яким перемиканням ключів [6]. На відміну від перетворювачів із жорстким перемиканням, ключі в перетворювачах з м'якою комутацією – квазірезонансних і деяких резонансних, піддаються набагато меншим навантаженням перемикання (зменшення швидкостей наростання напруги і струму) і цей фактор сприяє більшій надійності силової схеми.

Наряду з перевагами існують і **недоліки резонансних перетворювачів**, які створюють певні труднощі в проектуванні і розробці, експлуатації, керуванні, дослідженні процесів резонансних перетворювачів:

- Труднощі теоретичного аналізу процесів. Ланцюги з декількома реактивними елементами L і C під дією комутуваних джерел напруги і за наявності нелінійних елементів можуть створювати складні резонансні явища. Спроби аналізувати їх за допомогою теоретичних методів розрахунку електричних схем вимагають деяких припущень, які знижують точність результатів, або призводять до отримання громіздких символічних виразів, які незручні для використання в проектуванні перетворювачів. Отже в даній роботі представлено підходи до аналізу процесів деяких типів резонансних перетворювачів с узагальненими результатами.
- Підвищена коливальність. Перетворювачі з резонансними ланцюгами представляють собою динамічні ланки з високою коливальністю перехідних процесів. Ця риса резонансних перетворювачів, як керованих об'єктів, викликає труднощі керування ними через зменшення запасів стійкості замкненої системи керування і через обмеження швидкодії регулювання вихідних величин. Особливо це проявляється в перетворювачах зі змінним вихідним струмом або напругою, які формуються за допомогою автоматичного регулювання. Також проблеми в керуванні резонансними перетворювачами викликають нелінійності регульованих характеристик частотного і фазового керування. Тому при створенні систем управління резонансними перетворювачами ставляться особливі вимоги до характеристик і налаштувань автоматичних регуляторів.
- Зниження коефіцієнту використання силових ключів. Перевищення амплітудних значень струмів і напруг в порівнянні з середніми за напівхвилю значеннями знижує коефіцієнти використання силових ключів. Але ці недоліки характерні і для інших типів перетворювачів, зокрема одноканальних імпульсних перетворювачів, особливо в широких діапазонах напруг живлення.
- Обмежений діапазон регулювання. При частотному і фазовому регулюванні резонансних перетворювачів з одним інвертором діапазон зміни вихідних величин обмежується знизу можливостями зниження або підвищення робочої частоти. Вихідна напруга або струм неможливо регулювати від нуля. Зазвичай при частотному і фазочастотному регулюванні зниження вихідної потужності відбувається до 20-50%, а кратність

зміни робочої частоти складає 1.5-2.5. Тому для розширення діапазонів регулювання використовують різні способи регулювання на різних регульовальних ділянках, або поєднують способи регулювання.

- Дорога вартість комплектації. Як правило, конструкції резонансних перетворювачів потребують в порівнянні з нерезонансними перетворювачами застосування більш дорогих електротехнічних матеріалів. Але це в деякій мірі може компенсуватися підвищенням робочої частоти, зменшенням втрат потужності і, відповідно, зменшенням матеріаломісткості.

Отже подолання недоліків і врахування деяких особливостей резонансних перетворювачів спонукають дослідників і надалі розвивати методи дослідження і втілювати нові ідеї в конструкцію та принципи дії резонансних перетворювачів електроенергії.

Особливості резонансних перетворювачів можна більш детально визначити із порівняння з нерезонансними імпульсними перетворювачами. Перетворювачі постійної напруги (струму) в постійну напругу (струм) і змінної напруги в постійну напругу (англ. *DC-DC* і *DC-AC*) мають два основних недоліки, коли їхні силові ключі працюють в режимі перемикання. В процесі перемикання на силових ключах і між ними одночасно з'являються високий струм і напруга, що створює в них значні втрати потужності, тобто високі комутаційні втрати, які збільшуються лінійно з частотою перемикання. Щоб забезпечити прийнятний ККД перетворювачів, частота перемикання повинна підтримуватися на рівні певного максимального значення, при якій комутаційні втрати потужності залишаються в прийнятних межах. Другим недоліком роботи в режимі жорсткого перемикання є електромагнітні перешкоди, створені великими значеннями швидкостей наростання напруги і струму – змінних перемикання. Недоліки стають вагоміше при прагненні збільшити частоту перемикання, щоб зменшити розмір і вагу перетворювача.

Резонансні принципи комутації силових ключів перетворювачів дозволяють зменшити вказані вище недоліки. Ключі в резонансних перетворювачах створюють послідовності імпульсів напруги або струму, подібні до прямокутної хвилі, з постійною складовою або без неї. Резонансний *RLC*-ланцюг включається в шлях проходження струму ключа. Резонансна частота може бути близькою до частоти перемикання ключів або може істотно відхилитися. Якщо резонансний *RLC*-ланцюг налаштований приблизно на частоту перемикання, небажані гармоніки струму видаляються резонансним контуром. В незалежності від призначення перетворювача використовуються частотний, фазочастотний, широтний, релейний, числоімпульсний, часоімпульсний, амплітудний і параметричні способи регулювання вихідних величин перетворювачів.

Амплітудне регулювання (АР) реалізується шляхом зміни напруги живлення резонансного інвертора, зміни коефіцієнту зв'язку індуктивно-зв'язаних котушок, перестройки коливального контуру за допомогою регульованих індуктивних елементів. Одним з раціональних рішень АР є регулювання напруги живлення резонансного перетворювача РП за допомогою додаткового широтно-імпульсного перетворювача ШІП на рис.1. Амплітуда вихідної напруги інвертора напруги ІН класу D u_g буде визначатися напругою його живлення, що для форми меандру при постійній напрузі живлення U_{sr} має вигляд

$$u_g = u_{sr} \cdot \text{sgn}(\sin(\omega_g \cdot t)) \text{ для } u_{sr} = U_{sr_min} \dots U_{sr_max}, \quad (1)$$

де U_{sr_min} і U_{sr_max} мінімальне і максимальне значення одного знаку напруги живлення ІН u_{sr} , ω_g – робоча частота резонансного перетворювача РП.

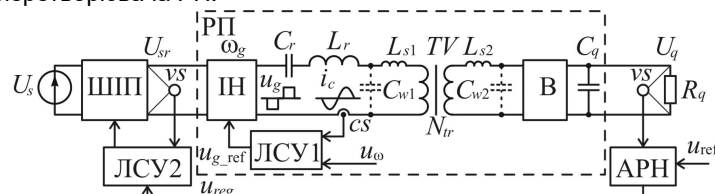


Рис.1. Схема резонансного перетворювача з амплітудним регулюванням (АР):

ШІП – широтно-імпульсний перетворювач, РП – резонансний перетворювач, ЛСУ1 – локальна система управління резонансним інвертором (ІН, *LC*-ланцюг і трансформатор), ЛСУ2 – локальна система управління ШІП, ІН – інвертор напруги класу D, В – випрямляч, АРН – автоматичний регулятор напруги, vs – датчик напруги, cs – датчик струму

Технічне рішення на рис.1 ефективно для реалізації високовольтних джерел живлення, які живляться від низької напруги порядку десятків Вольт. На низькій напрузі ККД понижуючого ШІП зазвичай може досягати 90-96%, оскільки доля комутаційних втрат на низькій напрузі є теж низькою. Подальше перетворення низької напруги у високу здійснюється за допомогою резонансного перетворювача РП, який може забезпечити роботу високовольтного трансформатора *TV* в резонансному режимі і таким чином досягти додаткового підвищення вихідної напруги. Випрямляч **В** може бути побудований в даній концепції за схемою однонапівперіодного або двохнапівперіодного діодно-каскадного помножувача напруги.

Частотне регулювання (ЧР) здійснюється зміною частоти перемикання ключів ω_g зі сторони системи управління

$$\omega_g = k_\omega \cdot u_{reg} \quad (2)$$

де k_ω – коефіцієнт частотної модуляції, u_{reg} – регулююча (модулююча) напруга. До частотних способів відносяться способи, що в кінцевому підсумку змінюють робочу частоту (ЧМ за керуючим сигналом). При регулюванні робочої частоти робоча точка переміщується по резонансній кривій контуру і в результаті змінюються амплітуда і фаза коливань, а також і вихідних величин. Вплив малих приростів робочої частоти на вихідні величини перетворювача не однаковий для різних значень робочої частоти. Тому регульовальна характеристика при ЧР є нелінійною внаслідок нелінійності резонансної кривої (АЧХ) контуру резонансного перетворювача.

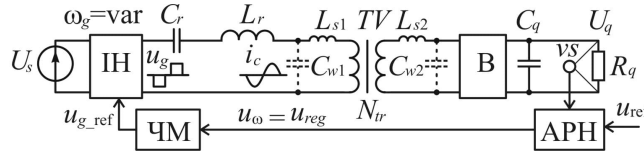


Рис.2. Схема резонансного перетворювача з частотним регулюванням (ЧР):

IH – інвертор напруги класу D, ЧМ – частотний модулятор, B – випрямляч,

APH – автоматичний регулятор напруги, vs – датчик напруги

Концепція частотно-регульованого резонансного перетворювача РП на рис.2 є найпростішою. Схема містить інвертор напруги IH, навантаженням якого є резонансний ланцюг, трансформатор TV, мостовий випрямляч B з фільтруючою ємністю C_q і опором навантаження R_q . Резонансний ланцюг містить послідовний резонансний LC-ланцюг з ємністю C_r , індуктивністю L_r і параметри трансформатора L_m , L_{s1} , L_{s2} , C_{w1} , C_{w2} .

Достоїнством частотного способу регулювання є простота реалізації, симетричний режим роботи IH з повною шириною імпульсів, прийнятні умови комутації ключів в певних широких діапазонах зміни робочої частоти, узгодженість зниження вихідної потужності з підвищенням долі комутаційних втрат при підвищенні робочої частоти транзисторних ключів. Це сприяє оптимізації енергетичних втрат резонансного перетворювача. Недоліками частотного регулювання є нелінійна регульовальна характеристика з точкою перекидання (резонансна крива) і обмежений діапазон регулювання. Якщо робоча частота переходить з одного боку відносно резонансної частоти контуру до іншого боку, змінюється характер опору резонансних ланцюгів і змінюється знак фазового зсуву між струмом контуру і напругою інвертора. Це призводить до зміни комутаційних умов і може викликати появу наскрізних струмів або великих втрат перемикання при розсмоктуванні надлишкових зарядів в процесі відновлення запираючих властивостей напівпровідникових вентилів. Тому частотне регулювання потребує обмежень діапазонів регулювання частоти і достатніх для компенсації нестабільності контуру запасів на границях цих діапазонів. Регулювання вихідних величин частотним способом до нуля вимагає або зменшення робочої частоти до нуля в НЧ-діапазоні*, або збільшення її до безкінечності у ВЧ-діапазоні* робочої частоти. Оскільки на практиці це неможливо реалізувати, частотне регулювання є обмеженим мінімальними вихідними величинами.

Широкосмугове фазове регулювання (ШФР) здійснюється шляхом регулювання фазового зсуву φ_g вихідної напруги інвертора u_g відносно фази напруги u_c або струму контуру i_c резонансного перетворювача. В результаті змінюється відносна робоча частота $\omega_g^* = \omega_g / \omega_0$, де ω_0 – резонансна частота. Вираз сигналу управління ключами інвертора напруги IH має вид

$$u_{g_ref}(t) = \text{sgn}(u_{cs}(t - k_\varphi \cdot u_\varphi)), \quad (3)$$

де $u_{cs}(t - k_\varphi \cdot u_\varphi)$ – сигнал датчика струму cs, $\varphi_g = k_\varphi \cdot u_\varphi$ – регульований фазовий зсув напруги інвертора відносно струму контуру, який залежить сигналу регулювання $u_\varphi = u_{reg}(t)$ і коефіцієнту зворотного зв'язку регулятора по фазі k_φ .

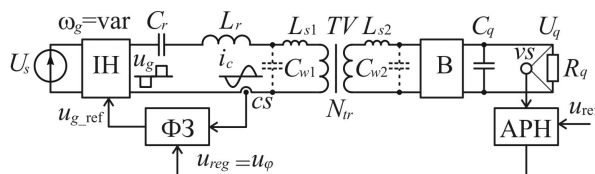


Рис.3. Схема резонансного перетворювача РП з широкосмуговим фазовим регулюванням (ШФР): IH – інвертор,

ФЗ – фазозсувач, B – випрямляч,

APH – автоматичний регулятор напруги, cs і vs – датчики струму і напруги

Достоїнствами даного способу фазового регулювання є прив'язка робочої частоти до резонансної частоти контуру і природне обмеження діапазону регулювання робочої частоти з однієї сторони від резонансної частоти (тільки НЧ-діапазон, або тільки ВЧ-діапазон). Якщо внаслідок дестабілізуючих факторів резонансна частота контуру змінюється, частота перетворення автоматично підлаштовується під змінену резонансну частоту і робочі показники відхиляються значно менше, чим було б при незмінній робочій частоті.

Недоліками даного способу регулювання як і при частотному регулюванні є нелінійність регульовальної характеристики і обмежений низу діапазон регулювання вихідної величини. Але вказані недоліки можна подолати введенням негативного зворотного зв'язку і доповненням частотного або фазового регулювання релейним регулюванням, як це реалізується в промислових контролерах LLC-резонансних перетворювачів.

Вузькосмугове фазове регулювання (ВФР) здійснюється шляхом регулювання фази коливань одного контуру відносно фази коливань іншого контуру в двоконтурній схемі РП на рис.1.4 з подальшим сумуванням коливань. Регульованою величиною є фаза коливань φ сигналу управління ключами інвертора u_{g_ref} . Вираз сигналу управління ключами інвертора (3) прийме інший вид

$$u_{g_ref}(t) = \text{sgn}(\sin(\omega_g \cdot t - \varphi(u_{reg}(t)))) \quad (4)$$

де ω_g – робоча частота, $\varphi(u_{reg}(t))$ – залежність фази коливань від регулюючого (модулюючого) сигналу u_{reg} . Відміною ЧМ, яка виникає при ВФР, від ЧМ при частотному регулюванні (ЧР) є те, що при ВФР постійне відхилення вхідної величини не призводить до постійного відхилення робочої частоти ω_g . При ЧР різним значенням вхідної величини відповідають різні значення робочої частоти.

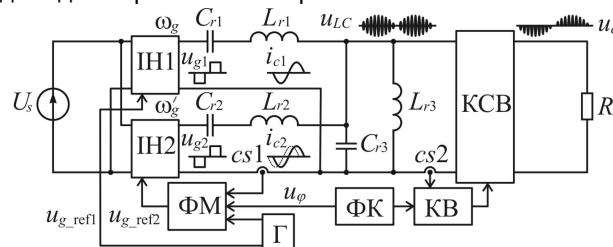


Рис.4. Схема резонансного перетворювача РП з вузькосмуговим фазовим регулюванням (ВФР): IH1, IH2 – інвертори напруги класу D, ФМ – фазовий модулятор, Г – генератор парафазних коливань, ФК – функціональний контролер, КВ – контролер випрямляча, КСВ – керований синхронний випрямляч, cs1, cs2 – датчики струмів контуру і випрямляча

Недоліком схеми на рис.4 є відносна складність силової схеми (два резонансних інвертори) і непропорційність зниження втрат енергії при зниженні амплітуди вихідної напруги u_{LC} при протилежних фазах струмів інверторів. Тому дане технічне рішення використовується для спеціальних задач, наприклад для лабораторного і експериментального обладнання, де складність силової частини і ККД не є вирішальними параметрами резонансного перетворювача.

Простішим рішенням з вузькосмуговим фазовим регулюванням є схема, аналогічна до схеми на рис.4, яка містить тільки один резонансний інвертор і подібний послідовно-паралельний резонансний ланцюг. Резонансний ланцюг складається з налаштованих на одну частоту послідовного LC-ланцюга і паралельного LC-контуру, до якого підключено синхронний випрямляч з навантаженням. Дана схема дозволяє шляхом регулювання фаз комутації однонаправлених ключів синхронного випрямляча створювати на навантаженні напругу з різними середніми значеннями і різною полярністю. Але одноінверторна схема має меншу навантажувальну здатність в порівнянні з двоінверторною схемою на рис.4.

Регульовальна характеристика при вузькосмуговому фазовому регулюванні монотонна і нелінійна, однак діапазон регулювання є повним – від нуля до максимуму вихідної величини. Достоїнством такого способу регулювання є малі відхилення робочої частоти в динамічних режимах і повний діапазон регулювання. Недоліком є складність силової частини, яка повинна містити два інвертори і два резонансних контури, і підвищені втрати енергії при регулюванні.

Широтне регулювання (ШР) здійснюється шляхом керування моментами перемикання імпульсів і на практиці реалізується широтно-імпульсним модулятором (ШИМ) системи управління перетворювача. В результаті ШР змінюється відносна ширина імпульсів вихідної напруги інвертора γ :

$$\gamma = t_p / T_g \text{ для одноконтурного і } \gamma = 2 \cdot t_p / T_g \text{ для двоконтурного інвертора,} \quad (5)$$

де t_p – довжина імпульсу, T_g – період робочої частоти. Робоча частота може залишатися постійною, або може змінюватися внаслідок зміни відносної ширини імпульсів. Регульовальні характеристики резонансних перетворювачів при ШР є монотонними і близькими до лінійних. Тому достоїнствами ШР є близькість регульовальних характеристик до лінійних і повний діапазон регульовальних характеристик – від нуля до максимуму

вихідної величини. Недоліком ШР є порушення оптимальних умов комутації напівпровідникових ключів резонансних перетворювачів при регулюванні. Тому на практиці ШР в чистому вигляді не використовується в резонансних перетворювачах. Для збереження прийнятних умов комутації ключів інвертора використовується суміщене широтно-частотне регулювання.

Широтно-частотне регулювання (ШЧР) реалізується як показано на схемі РП з ШЧР на рис.5, яка має аналогічну до попередніх схем силову частину з інвертором напруги ІН, послідовним резонансним LC-ланцюгом, трансформатором *TV* (з параметрами $L_m, L_{s1}, L_{s2}, C_{w1}, C_{w2}$) і мостовим випрямлячем **В** з ємністю фільтру C_q , до виходу якого підключено опір навантаження R_q .

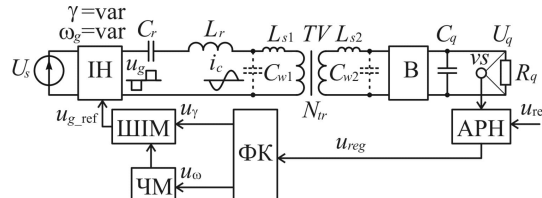


Рис. 5. Схема резонансного перетворювача з широтно-частотним регулюванням (ШЧР): ІН – інвертор напруги класу D, ШІМ – широтно-імпульсний модулятор, ЧМ – частотний модулятор, ФК – функціональний контролер, АРН – автоматичний регулятор напруги, vs – датчик напруги, В – випрямляч

Система управління РП на рис.5 складається з автоматичного регулятора напруги АРН, функціонального контролера ФК, частотного модулятора ЧМ і широтно-імпульсного модулятора ШІМ. Регулювання вихідної напруги РП U_q здійснюється по відхиленню сигналу датчика напруги vs від задаючого сигналу u_{ref} за законом регулювання, який реалізовано в АРН. Вихідний сигнал регулювання u_{reg} подається на ФК, де за спеціальним законом формуються два сигнали управління частотою ω_g і шириною γ керуючих імпульсів ІН u_{g_ref} . При відхиленні напруги навантаження в від заданого рівня сигнал регулювання змінюється в протилежному напрямку. Це призводить до збільшення ширини імпульсів γ і зменшення робочої частоти ω_g при зменшенні напруги навантаження і навпаки, до зменшення γ і збільшення ω_g при збільшенні напруги навантаження. В результаті напруга навантаження стабілізується.

Суміщене ШЧР має достоїнства обох способів регулювання – окремо частотного і окремо широтного способів. Регулювання потужності здійснюється зі збереженням прийнятних умов комутації ключів як при ЧР і в широкому діапазоні від 0 до 100% як при ШР. При зменшенні відносної ширини імпульсів вихідної напруги u_g інвертора ІН від максимуму до мінімуму $\gamma = 1 \dots \gamma_{min}$ (або довжини імпульсів u_g від половини періоду до мінімальної довжини $t_p = T_g / 2 \dots T_g \gamma_{min} / 2$) робоча частота узгоджено з шириною імпульсів збільшується від резонансної частоти до максимальної частоти $\omega_g = \omega_1 \dots \omega_{max}$. Фронти імпульсів вихідної напруги інвертора при такому узгодженому регулюванні завжди випереджають в часі переходи струму контуру через нуль на малий часовий проміжок. Таким чином, включення чергового транзистора відбувається при близькому до нуля зворотному струмі (який вже протікає через зворотний діод цього транзистора після закриття суміжного транзистора). Виключення транзистора відбувається при прямому струмі і частина цього струму в процесі закривання транзистора перетікає у вихідні ємності силових транзисторів стойки інвертора. Тому комутаційні втрати транзисторів в даному РП будуть суттєво меншими за комутаційні втрати в еквівалентному за потужністю нерезонансному ШІМ-перетворювачі.

Статичні регульовальні характеристики при ШЧР будуть близькими до лінійних в широкому діапазоні регулювання. Технічною проблемою реалізації ШЧР в резонансному перетворювачі є узгодження функціональної характеристики ФК на рис.5 з різними АЧХ резонансних контурів.

Релейне регулювання (РР) реалізується шляхом включення і виключення імпульсів вихідної напруги інвертора довше ніж на один напівперіод коливаль. Регульованим параметром послідовності імпульсів є відношення фактичної кількості імпульсів N_{reg} за деякий період регулювання до максимальної кількості імпульсів за цей період регулювання при постійній частоті періодів коливаль

$$\Theta = N_{reg} / N_{max} \quad (8)$$

де максимальна кількість імпульсів відповідає відношенню періоду регулювання до періоду робочої частоти $N_{max} = \text{int}(T_{reg} / T_g)$ для одноктактих інверторів і до напівперіоду $N_{max} = 2 \text{int}(T_{reg} / T_g)$ для двохтактних інверторів, T_{reg} – період регулювання, $T_g = 1 / f_g$ – період робочої частоти.

Схема РП з РР на рис.6 має аналогічну до попередніх схем силову частину з інвертором напруги ІН, послідовним резонансним LC -ланцюгом, трансформатором TV і мостовим випрямлячем B з фільтруючою ємністю C_q і підключеним на виході опором навантаження R_q .

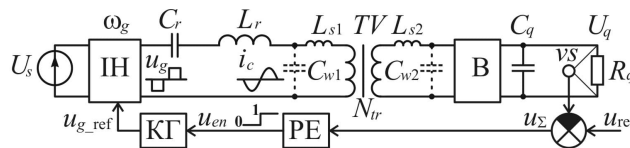


Рис. 6. Схема резонансного перетворювача з релейним регулюванням (РР):

ІН – інвертор напруги класу D, КГ – керований генератор імпульсів, РЕ – релейний елемент, vs – датчик напруги, B – випрямляч

Система управління РП на рис.6 працює наступним чином. Інвертор ІН запускається в роботу від напруги u_{g_ref} керованого генератора КГ і формує на виході прямокутну напругу u_g з амплітудою приблизно рівною напрузі живлення U_s і з постійною робочою частотою $\omega_g = \text{const}$. В первинному і вторинному контурах РП починає протікати струм, випрямляється у мостовому випрямлячі B з ємнісним фільтром C_q і напруга навантаження U_q поступово зростає. Поки напруга навантаження менша за задаючу напругу, сумарний сигнал похибки буде позитивним $u_\Sigma = u_{ref} - u_q > 0$.

На виході релейного елемента РЕ буде сигнал логічної одиниці $u_{en} = 1$, який дозволить роботу КГ. Коли напруга навантаження перевищить задаючу напругу, сумарний сигнал похибки стане негативним $u_\Sigma = u_{ref} - u_q < 0$ і сигнал на виході РЕ переключиться у логічний нуль $u_{en} = 0$, що означатиме заборону роботи КГ. На виході ІН буде близька до нуля напруга. Ключі ІН не вимикаються повністю, а вмикаються однойменні ключі суміжних стоек – два нижніх або два верхніх ключа. Таким чином, резонансний контур замикається через ключі ІН і стає дисипативним. На протязі декількох коливань енергія контуру віддається через випрямляч B в навантаження і коливання згасають. Напруга навантаження починає поступово знижуватися і стає знову меншою за задаючу напругу. Сигнал похибки стає позитивним $u_\Sigma = u_{ref} - u_q > 0$, РЕ вмикається і дозволяє роботу КГ, який запускає інвертування напруги у ІН. Енергія від джерела напруги живлення U_s через ІН, резонансний LC -ланцюг, випрямляч B передається в навантаження з активним опором R_q . Таким чином, РП з РР працює в режимі періодичного включення-виключення з деяким періодом регулювання T_{reg} , який на практиці в залежності від постійної часу ланцюга навантаження РП може складати від декількох одиниць до сотень періодів робочої частоти T_g . При цьому на виході створюються низькочастотні пульсації напруги з частотою $1/T_{reg}$ і амплітудою, яка визначається зоною чутливості РЕ і постійними часу контуру регулювання. В схемі на рис.6 період регулювання при зміні задаючої напруги і опору навантаження теж буде змінюватися в широких межах $T_{reg} = T_{min} \dots T_{max} = \text{var}$, що призведе до зміни частоти пульсацій. Зазвичай частота пульсацій знижується зі зменшенням струму навантаження і на холостому ході $1/T_{max}$ може складати декілька Герц. Тому якщо зниження частоти пульсацій є небажаним, використовують кількісно-імпульсне регулювання (КІР), при якому включення і виключення КГ відбувається з постійним періодом $T_{reg} = \text{const}$.

Достоїнствами РР є простота реалізації системи управління і резонансного інвертора з симетричним режимом роботи, постійна робоча частота, при якій генеровані високочастотні перешкоди мають обмежений спектр, асимптотична стійкість контуру регулювання при змінах постійних часу системи в широких межах, відсутність запізнення при повільних змінах задаючої величини.

До недоліків РР слід віднести складність згладжування низькочастотних пульсацій вихідних величин і дискретність регулювання в режимі КІР. Тому РП з РР використовується в застосуваннях не критичних до низькочастотних пульсацій, наприклад, в деяких електроприводах, установках намагнічування-розмагнічування, інших індукційних системах, в зарядних пристроях.

Види модуляції при регулюванні вихідних величин РП різними способами розрізняються за неперервним або дискретним характером передачі вхідної величини модулятора у вихідну імпульсну послідовність. Амплітудна модуляція (АМ) характеризується дискретно-неперервним характером передачі модулюючої величини в імпульсну послідовність. На протязі активних ділянок імпульсів (коли напруга імпульсу відрізняється від нуля) модулююча функція впливає на миттєву величину як множник і передається на вихід. В паузах між імпульсами модулююча функція не передається. Якщо імпульси представляють собою функцію форми двохполярного меандру, коли немає пауз, то характер передачі стає повністю неперервним. При АМ другого роду, коли модулююча функція фіксується пристроєм вибірки і збереження (ПВЗ) перед кожним імпульсом, характер

передачі моделюючої функції на вихід стає дискретним. Період дискретності є постійним і відповідає періоду імпульсів.

Частотна модуляція (ЧМ) і фазова модуляція (ФМ) має дискретний характер передачі вхідної модулюючої функції. Час настання кожного наступного імпульсу визначається значеннями модулюючої функції в попередні моменти часу за інтегральним законом. Період дискретності при ЧМ і ФМ є змінним, окрім вузькосмугової ФМ, коли при малих відхиленнях вхідної модулюючої функції період дискретності можна вважати постійним.

Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) теж має дискретний характер передачі вхідної модулюючої функції у вихідну імпульсну послідовність, оскільки моменти фронтів імпульсів визначаються значеннями модулюючої функції. Період дискретності при певних припущеннях може вважатися постійним.

На практиці модуляція всіх видів здійснюється з повільною зміною параметра імпульсної послідовності, при якій можна вважати модулюючу функцію постійною на протязі періоду коливань. Якщо динамічна модель резонансного перетворювача може бути представлена у вигляді неперервного інерційного об'єкта з найменшою постійною часу $\tau_{\min} > T_g$, то обмеження на швидкість зміни вхідних модулюючих величин запишеться так

$$\frac{d}{dt} u_{reg} \leq \left| u_{reg_max} - u_{reg_min} \right| / (k_{reg_max} \cdot \tau_{max}), \quad (7)$$

де u_{reg_max} і u_{reg_min} – максимальне і мінімальне значення регулюючої (модулюючої) величини, k_{reg_max} – максимальна крутизна регульовальної характеристики (диференційний коефіцієнт передачі), τ_{max} – максимальна значуща постійна часу еквівалентної неперервної динамічної моделі силової частини резонансного перетворювача.

Висновки. Резонансні перетворювачі з інверторним і випрямним мостами та послідовним резонансним контуром мають властивості, обумовлені по-перше структурою їхньої силової частини і по-друге – способом регулювання потужності, які визначаються видом модуляції імпульсів інвертора, і алгоритмами комутації силових вентилів. До структурних властивостей слід віднести коливальний характер перехідної характеристики і інерційна складова динамічної реакції, яка створюється ланцюгом навантаження – згладжуючим фільтром на виході. До модуляційних і «алгоритмічних» властивостей можна віднести особливості регульовальних і зовнішніх статичних характеристик, які можуть значно змінюватися при зміні алгоритму комутації вентилів. Тому для визначення властивостей резонансних перетворювачів, як керованих об'єктів слід побудувати теоретичну або експериментально-аналітичну математичну модель на основі імітаційної моделі або експериментального зразка резонансного перетворювача [7]. Математична модель дозволить побудувати еквівалентну динамічну ланку, що імітує резонансний перетворювач і може використовуватися в якості моделі об'єкта керування.

Список використаних джерел

1. Ohno, E. 1988. Introduction to Power Electronics, Clarendon Press, Oxford, U.K.
2. Robert L. Steigerwald, "A Comparison of Half-bridge resonant converter topologies," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 3, No. 2, April 1988.
3. Rashid, M. H. 1993. Power Electronics, Prentice-Hall International, London, U.K.
4. Bo Yang, "Topology Investigation for Front End DC/DC Power Conversion for Distributed Power System", Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Electrical Engineering, Blacksburg, Virginia, 2003.
5. Mohan, N., Undeland, T. M., and Robbins, W. P. 1989. Power Electronics, John Wiley & Sons, New York.
6. Bob Erickson, Resonant Power Conversion (PDF), Colorado Power Electronics Center, Department of Electrical, Computer and Energy Engineering University of Colorado, Boulder, 2012.
7. H. Xie, Y. He, L. Hang, P. Zeng and X. Zhan, "Research on Improved Modeling Method of CLLLC Resonant Converter," 2022 IEEE International Power Electronics and Application Conference and Exposition (PEAC), Guangzhou, Guangdong, China, 2022, pp. 1642-1648, doi: 10.1109/PEAC56338.2022.9959125.

СЕКЦІЯ 1. АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА

УДК 621.314.26

Турти М.В., к.т.н., доцент

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

НЕЙРОН «ТРОЯНДА_1» В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНИМИ ЗАСОБАМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

Нейромережеві технології на даний час є найбільш розповсюдженими і перспективними засобами побудови систем керування технічними пристроями. В галузі кібербезпеки нейронні мережі різних типів використовуються для виявлення та класифікації шкідливого програмного забезпечення, виявлення вторгнень, ідентифікації спаму, типів файлів, стану мережевого трафіку та інших об'єктів і процесів, причому точність класифікації залежить від типу нейронної мережі і може перевищувати 99,7% [1].

Впровадження нейронних мереж у засоби кіберзахисту супроводжується рішенням різноманітних задач, серед яких вибір методів машинного навчання, налаштування гіперпараметрів, балансування набору даних, підвищення ефективності роботи штучних нейронних мереж тощо [2].

При розв'язку задач логічної обробки даних типовою задачею, яка розв'язується за допомогою окремого нейрону, є розділення простору станів змінних на окремі ділянки. Наприклад, ще в роботах Мак Каллоха і Пітса був запропонований нейрон, який містить блок отримання проміжної функції, яка поділяє простір змінних на дві ділянки. Нейрон [3] складається з двох блоків. На вхід першого блоку подаються вхідні змінні $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n$ з відповідними ваговими коефіцієнтами $w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_n$. На виході першого блоку отримується проміжна функція $u_1 = F_1(w_1x_1, w_2x_2, \dots, w_jx_j, \dots, w_nx_n) + A_1$, де A_1 – вільний член функції u_1 . Поверхня функції u_1 поділяє простір змінних $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n$ на два півпростори. Значення функції u_1 подається на вхід другого блоку нейрону, в якому вона використовується як аргумент активаційної функції y . Вихід другого блоку $y(u_1)$ є виходом нейрону. Цей нейрон дозволяє розділити простір змінних лише на дві частини. Якщо потрібно розділити простір змінних на задану довільну кількість ділянок, то потрібно застосовувати мережу з певної кількості нейронів, внаслідок чого збільшуються витрати на реалізацію системи і час розрахунків.

Один з найбільш відомих нейронів ADALINE [4] також складається з двох блоків, перший з яких має входи відповідно змінним $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n$ та постійній вхідній величині A з ваговими коефіцієнтами $w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_n, w_A$, відповідно, а виході видає значення проміжної функції $u = F_1(w_1x_1, w_2x_2, \dots, w_jx_j, \dots, w_nx_n, w_A A)$, яка своєю поверхнею поділяє простір змінних $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n$ на ділянки. Функція u подається на вхід другого блоку нейрону – блоку з активаційною функцією, що є пороговою функцією за аргументом u , вихід якого є виходом нейрону. Так саме, як в попередньому прикладі, у випадку поділу простору змінних на кількість ділянок більшу за 2 необхідно використовувати більшу кількість нейронів ADALINE. Крім того, при використанні лише однієї вхідної змінної x_1 наявність двох послідовно з'єднаних блоків є надлишковою і призводить до підвищення складності і вартості системи.

Метою роботи є розробка нейрону спрощеної структури і з розширеними функціональними можливостями щодо поділу простору вхідних змінних на задану кількість ділянок.

Нейрон «Троянда_1» [5] містить блок оригінальної активаційної функції

$$\alpha_1 = 1 + \text{Trunc} \left(\frac{x_1 - x_1^{\min}}{\Delta x_1} \right),$$

де $\text{Trunc}(R)$ – функція округлення дійсного числа R до цілого значення шляхом утинання його дробової частини;

x_1^{\min} – мінімальне значення змінної x_1 , з якого починається ділення діапазону значень змінної x_1 на ділянки однакової величини $\Delta x_1^{\alpha_1} = \Delta x_1 = \text{const}$, які розміщені на вісі x_1 і впорядковані за номерами $\alpha_1 = 1, 2, 3, \dots$

Таким чином, виходом блоку активаційної функції є α_1 - порядковий номер ділянки, в яку потрапляє вхідне значення x_1 (рис.1).

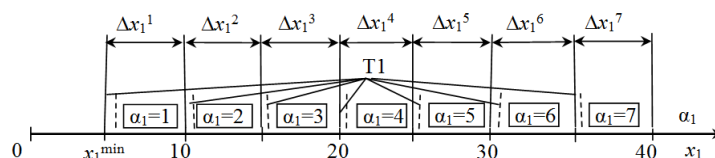


Рисунок 1 – Поділ нейроном «Троянда_1» діапазону значень однієї змінної

На рис.1 наведено приклад поділу одним нейроном T1 типу «Троянда_1» діапазону значень однієї змінної на сім частин ($\alpha_1 = \overline{1, 7}$) при $x_1^{\min} = 5$, $\Delta x_1^{\alpha_1} = \Delta x_1 = 5$. За порядковими номерами α_1 кожній з семи ділянок

можна призначити різні форми аналізу: виконувати аналітичну функцію; визначений клас (або класи) об'єктів, що характеризується діапазоном значень x_1 від $(x_{\min} + \Delta x_1^{\alpha_1}(\alpha_1 - 1))$ до $(x_{\min} + \Delta x_1^{\alpha_1} \alpha_1)$; певні процедури логічної обробки даних тощо. Для виконання аналогічних дій за допомогою нейрону ADALINE потрібно створювати нейронну мережу з семи нейронів. Відповідно, використання нейрону «Троянда_1» для даного прикладу дозволяє спростити нейронну мережу, знизити її вартість та час виконання операцій приблизно у 7 разів.

На рис.2 наведена ілюстрація процедури ділення простору двох змінних x_1 та x_2 двома нейронами T1 та T2 типу «Троянда_1».

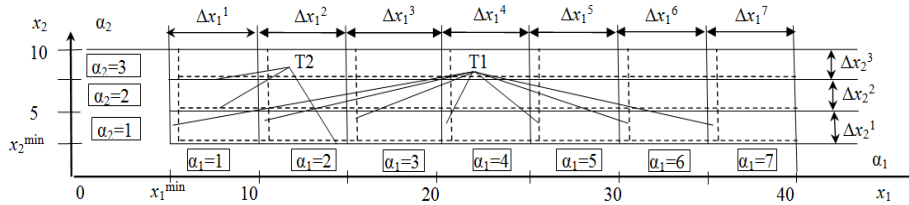


Рисунок 2 – Поділ нейроном «Троянда_1» простору значень двох змінних

Нейрон T1 в наведеному прикладі рис.2 поділяє діапазон значень змінної x_1 на сім частин ($\alpha_1 = \overline{1, 7}$) при $x_1^{\min}=5$, $\Delta x_1^{\alpha_1} = \Delta x_1 = 5$, а нейрон T2 поділяє діапазон значень змінної x_2 на три частини ($\alpha_2 = \overline{1, 3}$) при $x_2^{\min}=2,5$, $\Delta x_2^{\alpha_2} = \Delta x_2 = 2,5$. Значення змінної x_1 подається на вхід нейрону T1, на виході якого отримується відповідний порядковий номер α_1 для цього значення. Для отримання аналогічного результату за допомогою нейрону ADALINE необхідно сім нейронів. Значення змінної x_2 подається на вхід нейрону T2, на виході якого отримується відповідний порядковий номер α_2 для цього значення. Для отримання аналогічного результату за допомогою нейрону ADALINE необхідно три нейрони. Таким чином, для функціональної заміни двох нейронів типу «Троянда_1» необхідно використати десять нейронів ADALINE, тобто нейронна мережа є складнішою, а її вартість та час виконання операцій – збільшеними приблизно у $10/2=5$ разів).

Використання нейрону «Троянда_1» в технічних засобах захисту інформації (ТЗЗІ) дозволяє вирішити задачу їх оптимізації [6] за критеріями вартості і швидкості. При цьому ефективність застосування цього нейрону для виокремлення певних областей простору станів об'єкта (об'єктів) керування у багатовимірному просторі зростає із збільшенням кількості виокремлюваних ділянок по кожній змінній.

Висновки. Нейрон «Троянда_1» порівняно з нейроном ADALINE має ряд переваг:

- простішу структуру;
- підвищені функціональні можливості за рахунок поділу одним нейроном простору ознаки x_1 не на дві, а на задану довільну кількість однакових ділянок;
- меншу вартість нейронної мережі за рахунок спрощення структури окремого нейрону і зменшення кількості нейронів в мережі;
- менший час виконання операцій.

Використання нейрону «Троянда_1» в системах керування ТЗЗІ дозволяє підвищити ефективність нейронної мережі для вирішення задач, наприклад, розпізнавання образів, оцінювану за критеріями вартості і швидкості, або отримати більш широкі функціональні можливості при фіксованих ресурсних обмеженнях.

Список використаних джерел

1. Prajog Podder, Subrato Bharati, M. Rubaiyat Hossain Mondal, Pinto Kumar Paul, Utku Kose Artificial Neural Network for Cybersecurity: A Comprehensive Review // Journal of Information Assurance and Security, Volume: 16, Issue: 1, 2021, pp.010-023. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2107/2107.01185.pdf>
2. Pawlicki M., Kozik R., Choraś M. A survey on neural networks for (cyber-) security and (cyber-) security of neural networks // Neurocomputing? Volume 500, 21 August 2022, Pages 1075-1087. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925231222007184>
3. McCulloch W.S., Pitts W.A. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity // Bulletin of the Mathematical Biophysics/ - №5. -1943. URL: <https://www.cs.cmu.edu/~epxing/Class/10715/reading/McCulloch.and.Pitts.pdf>
4. Widrow B., Hoff M.E.Jr. Adaptive switching circuits // Western Conference Rec., IRE, №4, 1960. pp. 94 – 104. URL: <https://www-isl.stanford.edu/~widrow/papers/c1960adaptiveswitching.pdf>
5. Патент на корисну модель UA №97451, МПК6 G 06 N 3/00. Нейрон «ТРОЯНДА1» [Текст] / Кутковецький В.Я., Турти М.В. ; заявник і власник Чорноморський держ. ун-т ім. Петра Могили. – № u201408370 ; заявл. 23.07.14 ; опубл. 10.02.15, Бюл. №3.

6. Турти М. Задача оптимізації систем управління засобами захисту інформації //Матеріали VI Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Сучасні проблеми інформаційної безпеки на транспорті». - Миколаїв: НУК, 2017. - С.50-53.

УДК 621.36.99

Варганов В.О., Ушкаренко О.О., д.т.н., проф..

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

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РОЗПОДІЛЕНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ДАНИХ НА ОСНОВІ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Бездротові сенсорні мережі широко використовуються у вбудованих мікропроцесорних системах керування різноманітними технологічними процесами, системах збору та обробки даних [1, 2]. Мережі передачі даних по радіоканалу повинні задовольняти найбільш суперечливим вимогам залежно від області застосування. Для вирішення конкретних завдань треба визначити структуру мережі передачі даних, спосіб доступу до каналу передачі даних, частотний діапазон, швидкість передачі даних, термін служби батарей, число пристроїв, підтримуваних мережею, обсяг переданих даних, час реакції мережі, спосіб конфігурування мережі, співіснування декількох мереж одночасно [3]. При цьому при розробці таких мереж слід приділяти значну увагу питанням надійності та захищеності сенсорних радіомереж. Дослідженню цих питань присвячені роботи [4, 5]. Технології ZigBee та LoRa є досить популярними при побудові сенсорних радіомереж [6]. Разом з тим, існує багато інших апаратних засобів, а саме радіомодемів, на базі яких також можливе створення таких систем. Аналіз літературних джерел показує, що питання, пов'язані з дослідженням роботи бездротових мереж, побудованих на базі інших радіомодемів, наприклад TR24A ISM-діапазону, недостатньо висвітлені. Зорема, актуальним завданням є експериментальне дослідження таких мереж на предмет надійності передавання інформаційних пакетів даних при використанні різних способів організації взаємодії між вузлами мережі та варіюванні відстані між ними.

Метою роботи є розробка вузлів бездротової сенсорної мережі на базі радіомодулів TR24A та експериментальне дослідження її роботи на предмет надійності передавання даних про виміряне значення температури в різних точках приміщення та визначення відсотку втрат пакетів даних при варіюванні відстані між вузлами мережі.

Аналіз способів комутації пакетів в сенсорній радіомережі

Особливість пакетних радіомереж полягає в тому, що один і той же радіоканал використовується для передачі даних усіма користувачами мережі в режимі множинного доступу [7, 8]. Протокол обміну даними передбачає множинний доступ в канал зв'язку. Всі вузли мережі, крім ведучого, вважаються рівноправними. Перш ніж почати передачу даних радіомодеми очікують отримання спеціального пакета-маркера. Якщо адресне поле цього пакету збігається з адресою вузла мережі, виконується перевання даних. Якщо адресне поле прийнятого пакета не збігається з адресою вузла, то передавання даних відкладається. Можливо, що в цей же момент часу почне передавання даних інший вузол мережі. Якщо адреса службового пакета даних співпадає з адресами як мінімум двох вузлів, які одночасно почнуть передавання даних, то в цьому випадку відбудеться накладення сигналів (колізія), внаслідок чого дані будуть спотворені або втрачені. Радіомодем, що передає дані, дізнається про це отримавши негативне підтвердження від приймаючого вузла, або в результаті тайм-ауту. У такій ситуації він зобов'язаний повторити передачу. Для виключення такої ситуації необхідно гарантувати, що всі вузли в мережі мають унікальні адреси.

Під комутацією пакетів розуміється передача єдиного блоку даних між транзитними вузлами мережі з тимчасовою буферизацією цього блоку в пам'яті вузла мережі. Пакет даних має довільну довжину, яка визначається змістом інформації, що становить повідомлення [9]. Якщо потрібно опитувати всі вузли мережі, то може бути використана одна з двох процедур. У випадку, коли всі вузли радіомережі знаходяться в радіусі покриття, використовується алгоритм, який опитує по черзі кожен з вузлів мережі (рис. 1).

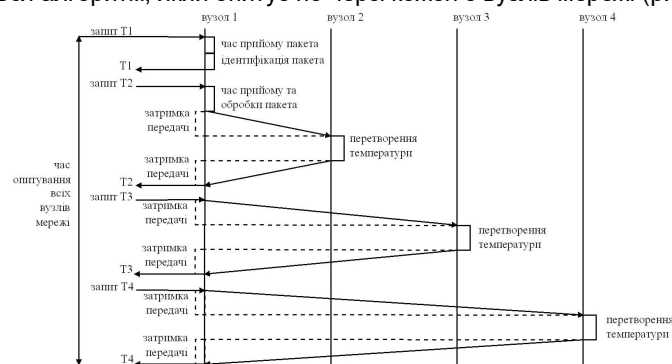


Рисунок 1 – Процедура опитування всіх вузлів мережі по черзі (для топології «зірка»)

Якщо вузли знаходяться на значній відстані, але хоча б між двома вузлами мережі є зв'язок, то може бути використана топологія мережі «ланцюг». У такому випадку процедура опитування вузлів мережі має вигляд, представлений на рис. 2.

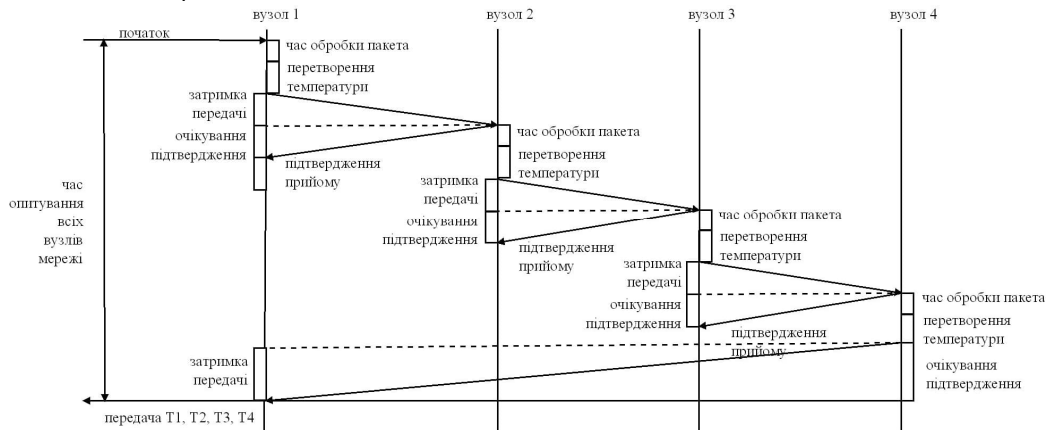


Рисунок 2 – Процедура послідовного опитування вузлів мережі (для топології «ланцюг»)

Затримки, що виникають при передачі даних, аналогічні тим, що виникають при використанні процедури опитування одного з вузлів мережі.

Результати обробки експериментальних даних та визначення відсотку втрачених пакетів

Для дослідження ефективності роботи мережі та втрат пакетів були проведені два експерименти з п'яти випробувань кожний. В першому випадку відстань між вузлами мережі не перевищувала 3 метри. Було виконано 1000 запитів на вимірювання температури (по 250 до кожного вузла). При цьому були зафіксовані помилки передачі. Статистика роботи мережі, а саме статистика втрат пакетів при запиті до кожного вузла, представлена в табл. 1.

Таблиця 1 – Статистика втрачених пакетів при відстані між вузлами 3 м.

№	T1 (Slave)	T2 (Slave)	T3 (Slave)	T4 (Master)	Загальна кількість втрачених пакетів
1	19	17	23	0	59
2	17	17	16	0	50
3	12	24	20	0	56
4	35	30	30	0	95
5	23	1	5	0	29
Середнє значення	21,2	17,8	18,8	0	57,8

Із загальної кількості в 1000 пакетів помилки були зафіксовані в середньому в 57,8, що складає 5,78% втрачених пакетів. Найбільша кількість втрачених пакетів дорівнює 35 з 250, що складає 14% (вузол T1 радіомережі).

Другий дослід був проведений при відстані між вузлами мережі близько 12 метрів. Статистика роботи мережі, а саме статистика втрат пакетів при запиті до кожного вузла, представлена в табл. 3.2.

Таблиця 2 – Статистика втрачених пакетів при відстані між вузлами 12 м.

№	T1 (Slave)	T2 (Slave)	T3 (Slave)	T4 (Master)	Загальна кількість втрачених пакетів
1	24	37	36	0	97
2	86	6	79	0	171
3	57	4	83	0	144
4	49	12	65	0	126
5	32	24	56	0	112
Середнє значення	49,6	16,6	63,8	0	130

Із загальної кількості в 1000 пакетів помилки були зафіксовані в середньому в 130, що складає 13% втрачених пакетів. Найбільша кількість втрачених пакетів дорівнює 86 з 250, що складає 34,4% (вузол T1 радіомережі).

Графічна інтерпретація отриманих експериментальних даних представлена на рис. 3, а, б.

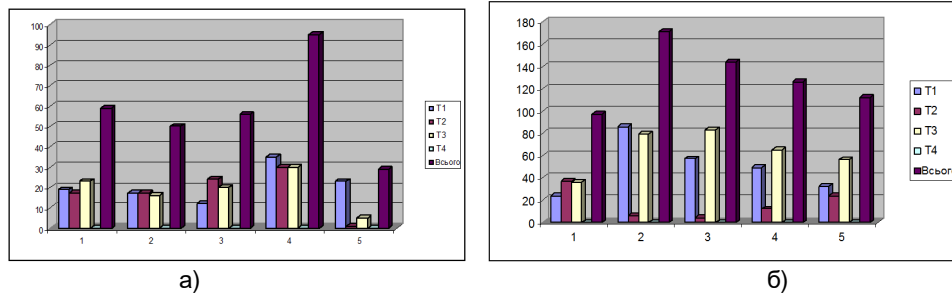


Рисунок 3 – Графічна інтерпретація отриманих даних при відстанях між вузлами мережі 3м (а) та 12м (б)

Аналіз отриманих даних показав, що відсоток втрат пакетів даних, що передається між вузлами радіомережі, є досить високим. Для покращення якості роботи радіомережі можуть бути використані методи мінімізації колізій інформаційних потоків в мережах розподілених систем керування [10] та знаходження оптимальної стратегії доступу до каналу зв'язку в радіомережах [11].

Висновки. Суттєвою перевагою розроблених пристроїв, що представляють собою вузли сенсорної радіомережі, є те, що вони можуть бути використані в якості лабораторних стендів, для організації процесу обміну даними між комп'ютерами. В результаті дослідження встановлено, що відсоток втрат пакетів даних при використанні радіомодулів TR24A є досить великим, що потребує використання додаткових програмних алгоритмів для гарантування надійності передавання даних. Разом з тим, для вирішення завдань збору даних, особливо для відносно повільних процесів, наприклад таких як вимірювання температури, використання зазначених радіомодулів є цілком прийнятним. Проведене експериментальне дослідження роботи мережі при різних відстанях між її вузлами та отримана статистика втрат інформаційних пакетів є продовженням та доповненням роботи [11], яка присвячена аналізу часових затримок передачі інформаційно-керуючих пакетів по провідній мережі Ethernet.

Список використаних джерел

1. Duobiene Shathya. Development of Wireless Sensor Network for Environment Monitoring and Its Implementation Using SSAIL Technology / Shathya Duobiene, Karolis Ratautas, Romualdas Trusovas, Paulius Ragulis [et. al.] // *Sensors*. 2022. №22(14). P. 5343–5360.
2. Khalifeh Ala. Microcontroller Unit-Based Wireless Sensor Network Nodes: A Review / Ala Khalifeh, Felix Mazunga, Action Nechibvute, Benny Munyaradzi Nyambo // *Sensors*. 2022. №22(14). P. 8937–8959.
3. Ali Syed Mohd. Wireless Sensor Networks Routing Design Issues: A Survey / Syed Mohd Ali, Syed Abdul Sattar, D. Srinivasa Rao // *International Journal of Computer Applications*. 2019. №178(26). P.25–32.
4. Xing Liudong. Reliability Modeling of Wireless Sensor Networks: A Review / Liudong Xing // *Recent Patents on Engineering*. 2021. №15 (1). P. 3–11.
5. Zhixue Wang. Reliability Analysis of Social Network Data Transmission in Wireless Sensor Network Topology / Wang Zhixue // *Journal of Sensors*. 2022. Special Issue. P. 1–10.
6. Juan Bravo. Realistic Deployment of Hybrid Wireless Sensor Networks Based on ZigBee and LoRa for Search and Rescue Applications / Bravo Juan, Zambrana Pablo, Fernandez-Lozano J.J., Gomez-Ruiz Jose [et. al.] // *IEEE Access*. 2022. №10. P. 64618-64637.
7. Zou Z. Wireless sensor network routing method based on improved ant colony algorithm / Z. Zou, Y. Qian // *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 2019. №10(3). P. 991–998.
8. Pavithra Loganathan. Wireless Sensor Networks: A Review on Sensor Deployment and Routing Protocols for Different Application / Loganathan Pavithra, Abdullah M., Prakash S., Karthick S. [et. al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. №1084. P. 1–8.
9. Cheng-Long Chuang. Adaptive Routing Algorithm Over Packet Switching Networks for Operation Monitoring of Power Transmission Systems / Chuang Cheng-Long, Wang Yung-Chung, Lee Chien-Hsing, Liu Maw-Yang [et. al.] // *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2010. №25. P.882–890.
10. Рябенський В. М. Підвищення якості роботи мереж обробки інформації шляхом мінімізації колізій / В.М. Рябенський, О. О. Ушкаренко, Сулейман Аднан // *Проблеми інформаційних технологій*. 2010. №1(007). С. 122–125.
11. Рябенський В. М. Знаходження оптимальної стратегії доступу до каналу зв'язку в бездротових мережах / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко, Аднан Сулейман // *Проблеми інформаційних технологій*. Херсон: ХНТУ. 2008. №4. С. 176–180.
12. Ryabenkiy V.M. Experimental investigation of time delays data transmission in automatic control systems / V.M. Ryabenkiy, O.O.Ushkarenko // *Problems of Information Technologies*. 2015. №1(017). P. 42–45.

УДК 004.056

Козирев С. С., к.т.н., доцент

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

ЗАХИСТ ДИНАМІЧНИХ ВЕБ-ДОДАТКІВ ВІД НЕСАНКЦІОНОВАНОЇ МОДИФІКАЦІЇ

На сьогоднішній день жоден сучасний веб-додаток не може обійтися без системи управління, яка включає в себе функції захисту інформаційного наповнення проекту. Це особливо актуально для продуктів з розгалуженою структурою і великою кількістю даних. Дуже часто виникає необхідність доопрацювання функцій системи управління динамічними веб-додатками, що знаходяться на стадії вдосконалення і не містять в стандартній версії функцій захисту [1].

Безпека веб-ресурсів – є одним з найбільш гострих питань в контексті інформаційної безпеки. Як правило більшість сайтів, доступних в Інтернеті, мають різного роду вразливості і постійно піддаються атакам.

Основні типи загроз для інформаційної безпеки веб-додатків (сайтів): загрози конфіденційності - несанкціонований доступ до даних; загрози цілісності - несанкціоноване спотворення або знищення даних; загрози доступності - обмеження або блокування доступу до даних.

Основним джерелом загроз для інформаційної безпеки сайтів є зовнішні порушники. Зовнішній порушник - особа, що мотивована, як правило, комерційним інтересом, має можливість доступу до сайту. Основною загрозою безпеці сайту є хакерська атака. Вона може мати кінцеву мету, тобто бути цільовою атакою, або носити безсистемний характер. У першому випадку зловмисник може виявляти максимально можливу кількість векторів атаки для складання та реалізації потенційно успішних сценаріїв злому, у другому ж об'єкти атакують масово, зазвичай використовують кілька поверхневих вразливостей.

Вразливості веб-додатків, як правило, призводять до виконання коду на віддаленому сервері з використанням даних, що передаються користувачем при обробці запитів. Якщо при розробці веб-додатку не враховуються вимоги безпеки, зловмисник отримує можливість модифікувати команди, що призводить до порушення роботи веб-ресурсу. До такого роду вразливостей відносяться, наприклад, SQL-injection [2].

Існують апаратні і програмні методи захисту веб-додатків від хакерських атак. Існуючі програмні методи захисту як правило використовують антивірусні програми, що працюють з базою вірусів, які вже функціонують в мережах та заразили багатьох користувачів [3 - 5]. Такі програми не в змозі захистити інформацію веб-сайту від нових шкідливих програм, які запускаються вперше. У більшості випадків у веб-додатках не використовуються спеціальні засоби виявлення, моніторингу та захисту від хакерських атак, тому що такі програми є дорогі. Тому актуальним є створення цільових авторських програм захисту для конкретних динамічних веб-додатків.

Метою роботи є розробка цільової авторської програми захисту динамічних веб-додатків від несанкціонованої модифікації. Розроблено програму `init.php`, яка виявляє файли, що були модифіковані, видалені або додані до сайту. Розробка та демонстрація роботи програми здійснювалась на локальному сервері, за допомогою програми OpenServer 5.2.2.

Програма написана на мові `php`, її файл знаходиться за межами кореню сайту, для захисту від втручання зловмисника. Авторська програма захисту `init.php` за допомогою рекурсивного пошуку аналізує код веб-додатку, після цього створює аналогічну структуру директорій та файлів в заданому місці та записує файли, які мають назву `<оригінальне_ім'я_файлу>.hash` та містить в собі хеш оригінального файлу для майбутньої перевірки у вигляді єдиного рядка у файлі – хеш оригіналу. Нижче наведено фрагмент коду програми.

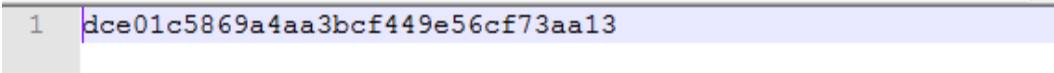
```
$dir = dirname(__DIR__) . '/domains/onlyone';
$backup = dirname(__DIR__) . '/hash';

// This function remove all data from folder
function clear($backup) {
```

Приклад роботи програми, а саме згенеровані файли, показано на рис. 1. Хеш оригінального файлу, який зберігається при роботі програми для майбутньої перевірки на модифікацію, відображено на рис. 2.

css	04.06.2019 23:13	Папка с файлами	
images	04.06.2019 23:13	Папка с файлами	
js	04.06.2019 23:13	Папка с файлами	
contact.php.hash	04.06.2019 23:16	Файл "HASH"	1 KB
index.html.hash	04.06.2019 23:13	Файл "HASH"	1 KB
info.txt.hash	04.06.2019 23:13	Файл "HASH"	1 KB

Рис. 1. Згенеровані файли



```
1 dce01c5869a4aa3bcf449e56cf73aa13
```

Рис. 2. Хеш файлу index.html.hash

Для автоматичного запуску перевірки файлів веб-додатку на модифікацію розроблено авторську програму hash.php. За допомогою цієї програми звіряється оригінал хеш файлу та створена «копія» програмою init.php. Нижче наведено фрагмент коду програми.

```
$destination = 'domains/onlyone';
$backup = dirname(__DIR__) . '/hash';
$folder = '/hash';

// This function scans the files folder recursively
function scan($dir, $destination, $folder){
```

При перевірці на модифікацію файлів виводиться звіт в файл log.html, який знаходиться в папці program. Результати поточної перевірки доповнюють результати попередніх перевірок. Звіт роботи програми в log.html зображено на рис. 3.



```
Log.html

[2019-06_04 23:24:10] Файл был обновлен: E:\opensever\OSPanel\domains/onlyone/contact.php
[2019-06_04 23:24:10] Файл был удален: E:\opensever\OSPanel\domains/onlyone/info.txt
[2019-06_04 23:24:10] Файл был добавлен: E:\opensever\OSPanel\domains/onlyone/newfile.txt
```

Рис. 3. Звіт про модифікацію файлів в log.html

В звіті зберігаються попередні та поточні дані перевірки. Жовтий колір – якщо файл був оновлений, зелений - якщо файл був видалений, а червоний - файл був доданий.

Висновки. Проведено аналіз систем управління динамічними веб-додатками на предмет забезпечення ними функцій захисту інформаційного контенту. Проаналізовано існуючі вразливості динамічних веб-додатків, типи та джерела загроз для інформаційної безпеки веб-додатків. Встановлено, що існуючі програми захисту зазвичай використовують існуючу базу вірусів і не в змозі захистити інформацію веб-ресурсу від нових шкідливих програм. Проведений аналіз показав, що у багатьох випадках в системах управління веб-додатками не використовуються спеціальні засоби виявлення, моніторингу та захисту від хакерських атак, тому що такі програми є дорогавартісними. Тому актуальним є створення цільових авторських програм захисту окремих веб-додатків (сайтів). Розроблено авторську програму захисту динамічних веб-додатків від несанкціонованої модифікації, яка виявляє файли, що були модифіковані, видалені або додані до сайту. Програма складається з двох підпрограм. Підпрограма init.php за допомогою рекурсивного пошуку аналізує код веб-додатку, створює аналогічну структуру директорій та файлів, які містять в собі хеш оригінального файлу для майбутньої перевірки. Підпрограма hash.php запускає перевірку файлів веб-сайту на модифікацію, звіряє оригінал хеш файлу й створену «копію» програмою init.php та виводить звіт в файл log.html. Створена програма забезпечує надійний захист динамічних веб-додатків від несанкціонованої модифікації, що є найчастішою загрозою безпеці веб-ресурсів.

Список використаних джерел

1. Билл Скотт Проектирование веб-интерфейсов [Текст] / Билл Скотт, Тереза Нейл. – Из-во «Символ-плюс», 2018. – 352 с.
2. Козлов С. Н. Защита информации [Text] / С.Н. Козлов. – Из-во «Академический проект», 2018. – 286.
3. Блінцов В. С. Захист програмних продуктів [Текст] / В. С. Блінцов, С. С. Козирев // Навчальний посібник (Лист МОН № 1/11-10917 від 30.11.2010 р.). – Миколаїв: НУК, 2010. - 146 с.
4. Главные тенденции в развитии решений для кибербезопасности [Электронный ресурс] // Kaspersky. – 2021. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.kaspersky.ru/resource-center/preemptive-safety/cyber-security-trends>.
5. Каптерев А. И. Компьютерные вирусы и их классификация [Электронный ресурс] / А. И. Каптерев // Электронный ученик по информатике. – 2021. – Режим доступа до ресурсу: http://www.mediagnosis.ru/Autorun/Page6/11_1_.htm.

СЕКЦІЯ 2. МОРСЬКЕ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

УДК 681.518

Гайдай Г.Ю., к.т.н., доцент, Грешнов А.Ю., доцент

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

СЕРВЕРНА ЧАСТИНА ВЕБ-ДОДАТКУ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У ДИСТАНЦІЙНОМУ ФОРМАТІ

Комп'ютерні системи для проведення будь-яких лабораторних занять та експериментальних досліджень у дистанційному форматі є досить актуальними на теперішній час. Спочатку це було зумовлено пандемією коронавірусу, потім введенням воєнного стану на території нашої країни, коли багато студентів та викладачів не мають можливості фізично знаходитися в аудиторіях університету, оскільки це загрожує їх здоров'ю та життю, але навчальний процес повинен продовжуватися навіть за таких умов. Однак щоб мати віддалений доступ до ліцензійного програмного забезпечення, яке встановлено в університетах, і яке звичайні студенти не можуть встановити на своїх персональних комп'ютерах у зв'язку з його вартістю, потрібно розробити таку систему, яка зможе забезпечувати таку можливість при належному захисті даних.

Метою роботи є розробка серверної частини веб-додатку комп'ютерної системи для проведення лабораторних досліджень в дистанційному форматі, що дозволить реалізувати алгоритм проведення багатьох експериментальних досліджень у віддаленому режимі в умовах карантину, воєнного стану та поза ними під повним контролем викладача.

Головною проблемою проведення експериментів під час карантину та в умовах воєнного стану є відсутність доступу до робочих станцій. Проведення досліджень вдома ускладнено через відсутність потрібного обладнання та ліцензійного програмного забезпечення. Доступ до робочих станцій можна отримати «вручну», через програму віддаленого адміністрування та за допомогою системного адміністратора.

Для отримання віддаленого доступу до робочої станції, не використовуючи системи автоматизації, потрібно [1]: встановити та налаштувати програму віддаленого адміністрування на кожній робочій станції; найняти системних адміністраторів, які обслуговуватимуть робочі станції, стежать за роботою, делегують доступ студентам та працівникам ВНЗ.

Такий метод є вкрай неефективним. Головною проблемою такого методу є дорожнеча та неможливість масштабування через те, що на обслуговування та моніторинг станцій потрібен великий штат персоналу, який тільки збільшуватиметься з кількістю робочих станцій. Системним адміністраторам потрібно вручну стежити за статусами комп'ютерів та надсилати коди доступу користувачам за їхніми запитами.

Можна суттєво покращити та оптимізувати отримання віддаленого доступу за допомогою автоматизації всієї системи, перекинувши більшу частину завдань системних адміністраторів на сервер та веб-додаток. Користувачам не потрібно буде звертатися до системних адміністраторів для отримання доступу до тієї чи іншої робочої станції, а системним адміністраторам буде зручно стежити за станом системи та робочих станцій через веб-додаток.

Існує багато різних систем для віддаленого адміністрування комп'ютером, серед яких є LabStats, RemotePC, Splashtop, RemoteLab і т.п. [2-4]. Дані системи є досить ефективними та дуже схожими між собою за інтерфейсом, засобами підключення та операційними системами, але суттєвим недоліком усіх цих систем є їх велика вартість, що також є проблемою для звичайного студента. Тому потрібно розробити максимально доступну та автоматизовану комп'ютерну систему з відповідним веб-додатком.

У системі можна виділити такі функціональні підсистеми: пристрій для здійснення підключення, який призначено для отримання доступу до системи через веб-додаток та віддаленого адміністрування робочої станції; веб-додаток, який призначено для управління та моніторингу всієї системи в цілому, а також надання доступу до програми віддаленого адміністрування; програма віддаленого адміністрування; робоча станція.

У роботах [5, 6] було розроблено основні вимоги, структурні та функціональні схеми даної комп'ютерної системи, загальний вигляд графічного інтерфейсу користувача. Наступним етапом роботи є розробка серверної частини. Тому дану статтю присвячено більш детальній розробці серверної частини веб-додатку запропонованої системи.

Слід відмітити, що серверна частина складається з трьох основних частин: маршрутизатора, контролера та моделі. Маршрутизатор являє собою файл "index.php", який лежить у кореневій директорії та підключається у конфігураційному файлі ".htaccess" [7]. Залежно від шляху запиту в адресному рядку браузера маршрутизатор підключає той чи інший контролер. Поточний URL береться з масиву \$_SERVER, де він записаний в індексі 'REQUEST_URI'. Потім йде перевірка на те, чи авторизований користувач, і в залежності від цього відбувається маршрутизація. До кожної сторінки маршрутизатор завантажує контролери верхньої та нижньої частини сторінки.

Завантаження контролерів відбувається під час маршрутизації у файлі "index.php". Першим завантажується контролер верхньої частини сайту (header.php), потім завантажується контролер сторінки, а потім конт-

ролер нижньої частини сайту (footer.php). Контролери можуть підключатися до себе та виконувати код інших контролерів. Усі контролери перебувають у директорії "catalog/controller".

Модель являє собою файл "main.php" [8], розташований у директорії "catalog/controller". Всередині файлу знаходяться функції, які виконують SQL запити до бази даних. Завантаження функцій моделі відбувається контролерами, коли потрібен доступ до бази даних.

Дистанційне увімкнення робочої станції можливе за допомогою технології Wake-on-LAN (WoL) та сервера веб-додатку [9]. Для цього мережевий адаптер материнської плати робочої станції повинен підтримувати WoL, а IP адреса в мережі Інтернет має бути постійною.

Після налаштування BIOS потрібно увімкнути WoL в операційній системі, для цього потрібно в диспетчері пристроїв Windows вибрати мережевий адаптер робочої станції. У налаштуваннях мережевого адаптера увімкнути WakeonMagicPacket.

Важливою частиною веб-додатку є коректне ведення технічного обліку подій. Технічний облік здійснюється за допомогою контролерів сторінок і моделі при різних діях користувача. У контролері формується повідомлення обліку, який передається моделі та записується до таблиці "system_log" бази даних [10]. Звіт формується за наступних дій користувача: створення нового облікового запису користувача; авторизація до облікового запису; отримання доступу до робочої станції; перегляд інформації про робочу станцію; вихід з облікового запису. Адміністратор системи може в будь-який час відкрити веб-програму phpMyAdmin для перегляду технічного обліку подій (рис. 1).

id	computer_id	user_id	log	date
1	0	0	Реєстрація нового користувача: USER-NAME: Тестуван...	2021-11-19 15:40:23
2	0	4	Вхід до облікового запису: USER-ID: 4 USER-IP: 127...	2021-11-19 15:40:51
3	1	4	Підключення до комп'ютера: Комп'ютер №167491 USER...	2021-11-19 15:41:00
4	1	4	Перегляд інформації про комп'ютер: Комп'ютер №1674...	2021-11-19 15:41:03
5	0	4	Вихід з облікового запису: USER-ID: 4 USER-IP: 127...	2021-11-19 15:41:11

Рис. 1. Результати тестування технічного обліку подій

У системі для контролю над робочими станціями використовується дві програми віддаленого адміністрування: Microsoft RDP та TeamViewer [5].

Завершальним етапом розробки системи є тестування роботи самої системи та її окремих елементів. Першим було проведено тестування продуктивності та коректності роботи веб-додатку. Потім перевірка самої системи у роботі шляхом проведення дистанційного експериментального дослідження.

Для тестування веб-додатку базу даних було заповнено тестовими даними (рис. 2), які були імітацією наповненості БД, що дозволило перевірити швидкість роботи веб-додатку. Перевірка продуктивності відбувалася на найбільш завантаженій сторінці з робочими станціями, використовуючи GoogleLighthouse у браузері Google Chrome.

Таблиця	Действие	Строки	Тип	Сравнение	Размер	Фрагментировано
access		1,520	InnoDB	utf8_general_ci	256 КбБ	-
classrooms		24	InnoDB	utf8_general_ci	16 КбБ	-
computers		1,520	InnoDB	utf8_general_ci	544 КбБ	-
system_log		4,520	InnoDB	utf8_general_ci	1.5 МБ	-
users		2,300	InnoDB	utf8_general_ci	272 КбБ	-
5 таблиц	Всего	9,884	InnoDB	utf8_general_ci	2.6 МБ	0 Байт

Рис. 2. База даних в phpMyAdmin

У ході тестування на сторінці з робочими станціями було отримано рейтинг продуктивності 98 балів зі 100 можливих. Повні результати тестування наведено у таблиці.

Останнім важливим етапом розробки є тестування всієї системи з проведенням умовного дистанційного експерименту з використанням розробленої системи.

Змодельюємо ситуацію, коли студенту потрібно виконати практичну роботу з програмування, але фізичного доступу до комп'ютерів університету він не має через карантин, або військовий стан, а на персональному комп'ютері роботу виконати неможливо через відсутність ліцензійного ПЗ. Для тестування в якості робочої станції було використано персональний комп'ютер, а у якості пристрою, з якого було здійснено підключення –

ноутбук. Всі ці пристрої були підключені до мережі Інтернет і на обох встановлено програми для віддаленого доступу.

Таблиця – Результати перевірки в GoogleLighthouse

Параметр	Результат
Час появи першого тексту/зображення на екрані (FirstContentfulPaint)	0.6 с
Час відображення всього вмісту сторінки (SpeedIndex)	1.4 с
Час завантаження найбільшого елемента в області перегляду (LargestContentfulPaint)	0.9с
Час, через який сторінка стає інтерактивною (TimeToInteractive)	0.7 с
Час блокування сторінки у відповідь на дії користувача (TotalBlockingTime)	0 мс
Візуальна стабільність сторінки, зміщення макету через асинхронне завантаження(CumulativeLayoutShift)	0.019 с

Після авторизації студент може вивчити на головній сторінці потрібну йому інформацію та перейти на сторінку з робочими станціями. Перейшовши до списку робочих станцій, є можливість точного вибору потрібної робочої станції завдяки кнопці "Додаткова інформація". Обравши робочу станцію, що задовольняє вимогам його роботи, студент натискає на кнопку "Connect". У вікні, що відкрилося, можна вивчити потрібну інформацію і отримати доступ до робочої станції.

Студент обравши TeamViewer, отримує доступ та відкриває програму віддаленого адміністрування. Ввівши дані доступу у цій програмі, отримує повний контроль над робочою станцією для проведення досліджень з можливістю використовувати будь-яке необхідне для досліджень програмне забезпечення всередині ОС. Провівши необхідні дослідження на робочій станції, студент відключається, звільняючи робоче місце для інших користувачів.

Висновки. У роботі було представлено автоматизовану комп'ютерну систему для проведення лабораторних досліджень у дистанційному форматі, а саме, ту частину, яку пов'язано з серверною частиною веб-додатку. Дана система дозволяє отримати віддалений доступ до робочих станцій для проведення досліджень. Систему побудовано навколо веб-додатку та програм віддаленого адміністрування, де веб-додаток керує всією системою, делегує доступ до робочих станцій та веде облік усіх подій. Підключення до робочих станцій здійснюється за допомогою програм віддаленого адміністрування Microsoft RDP та TeamViewer.

Список використаних джерел

1. Трохименко В. О. Дистанційне навчання педагогічних працівників: досвід і проблеми // Післядипломна освіта в Україні, 2004. – С. 29-32.
2. About Us, 2021. URL: <https://labstats.com/about>.
3. Splashtop Remote Access & Remote Support Pricing", 2021. URL: <https://www.splashtop.com/pricing>.
4. Remote Lab Access How To, 2021. URL: <https://www.uvic.ca/systems/facilities/remotelabaccess/remotelabhowto.php>.
5. Гайдай Г.Ю., Грешнов А.Ю. Автоматизована комп'ютерна система для проведення експериментальних досліджень у дистанційному форматі // Таврійський науковий вісник. Серія: «Технічні науки» / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Випуск 1. Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2022. – С. 3-11.
6. Гайдай Г.Ю., Жуков Ю.Д., Кудін О.О. The current state and prospects of the use of distance learning instruments during study ship engineering // Information Technology and Learning Tools. URL: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/issue/view/116>. Vol. 87, № 1. Київ, 2022. – Р. 151-165.
7. Котеров Д.В., Симдянов И.В. PHP 7. СПб: БХВ-Петербург, 2017. – 1073 с.
8. Responsive Navbar with HTML CSS without Bootstrap – MarkupTag, 2021. URL: <https://www.markuptag.com/responsive-navbar-with-html-css-without-bootstrap>.
9. Структура веб-приложения, 2021. URL: <http://labaka.ru/likbez/struktura-veb-prilozheniya>.
10. Open Server Panel, 2021. URL: <https://ospanel.io/docs/>.

УДК 519.6

Верещаго Є.М., к.т.н., доцент, Стогнієнко Є.В.

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

ВПЛИВ ОСОБЛИВОСТЕЙ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ ПЛАЗМОВОГО ОБРОБЛЕННЯ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ УПРАВЛІННЯ ДЖЕРЕЛОМ ЖИВЛЕННЯ ПЛАЗМОТРОНА

Плазмове оброблення є процесом, під час якого матеріали обробляються низькотемпературною плазмою, що генерується або дуговими плазмотронами (оброблення плазмовою дугою), або високочастотними плазмотронами (оброблення плазмовим струменем) [1].

Цей метод став популярним завдяки високій температурі плазми (близько 10^4 К), можливості регулювання потужності та зосередження потоку плазми на виробі. Плазмове оброблення забезпечує тепловий та механічний вплив на матеріали, що обробляються. Питома потужність, що передається поверхні матеріалу плазмовою дугою, може досягати $105...106$ Вт/см², а при використанні плазмового струменя - $103...104$ Вт/см² [1].

Крім того, тепловий потік може бути розосередженим, що дозволяє забезпечити м'який рівномірний нагрів поверхні для наплавлення чи нанесення покриттів. Нині плазмове оброблення матеріалів широко використовується у зварювальних і споріднених процесах [1].

Для розробки нових ефективних та компактних джерел напруги та струму для сучасних електротехнологій з підвищеними динамічними характеристиками потрібно досліджувати динамічні властивості цих джерел при роботі з нелінійним навантаженням, таким як електрична дуга [2].

Метою роботи є аналіз впливу різних параметрів імітаційної моделі процесів плазмової обробки металів на показники якості й ефективності управління джерелом живлення.

Моделювання управління джерелом живлення для плазмового оброблення металів розглянуто в статтях [3,4,5]. Зокрема, в [3] побудовано математичну модель процесу дугового плазмового різання для налаштування його параметрів. В статті [4] пропонується виразити джерело живлення як інерційну ланку затримки першого порядку. Втім, для побудови оптимального регулятора потрібно розглянути особливості імітаційної моделі та можливі способи оптимізації параметрів регулятора.

Аналіз варіацій моделі (з ланкою затримки та без неї), методів оптимізації параметрів ПІД регулятора, а також періоду дискретизації показав, що певні комбінації дають кращий результат за інші. Тож знаходження оптимальних параметрів управління джерелом живлення у процесі плазмової обробки металів може підвищити ефективність обробки та забезпечити високу якість продукції.

В Simulink присутні різноманітні інструменти для оптимізації процесу на основі його симуляційної моделі [6,7]. Зокрема, для оптимізації ПІД регулятора можна скористатись простішим інструментом PID Tuner та більш універсальним Response Optimizer. Використовуючи PID Tuner зручно задавати початкові значення параметрів ПІД регулятора [8], а для подальшої оптимізації параметрів можна скористатись компонентом Response Optimizer, що дозволяє шукати оптимальні значення параметрів на основі аналізу відповіді системи і припасовувати її під задані обмеження [9].

Після налаштування параметрів ПІД регулятора з використанням PID Tuner було отримано регулятор, показаний на рис. 1-1. Далі для зменшення шумності було зменшено коефіцієнт фільтра K_n (рис. 1-2).

Для подальшого дослідження показників точності [8] було додано ланку затримки (рис. 1-3). В результаті параметри виходять за задані обмеження, тому було проведено оптимізацію повторно двома способами. Спочатку було проведено оптимізацію вже оптимізованих раніше параметрів для системи без затримки з використанням Response Optimizer (рис. 1-4). Потім з використанням PID Tuner (рис. 1-5), в такому випадку вже задані мають значно менший вплив на результати оптимізації. Таблиця 1 дозволяє порівняти показники регулювання описаних вище моделей.

Таблиця 1 – Порівняння показників регулювання

Но-мер	K_p	K_i	K_d	K_n	Затримка	Час наростання	Час стабілізації	Мін. коливання	Макс. коливання	Перевіщення	Заниження	Пік	Час піку	Енерг. імпульсу
1	1.8247	6540.2	-4.250 4E-7	4.2931 E+6	0	5.2634 e-05	2.4403 e-04	0.9168	1.0393	2.9193	1.7065 e-38	1.0393	1.4555 e-04	1.002 e-04
2	1.8683	6678.9	-4.150 4E-7	30000	0	5.2717 e-05	2.0709 e-04	0.9320	1.0340	2.3604	0	1.0340	1.5000 e-04	5.452 e-05
3	1.8683	6678.9	-4.150 4E-7	30000	(1/52)* 1e-3	2.3753 e-05	2.1261 e-04	0.9602	1.3006	28.862 8	0	1.3006	7.0000 e-05	1.168 e-04

Продовження таблиці 1

Но-мер	Kp	Ki	Kd	Kn	Зат-римка	Час наростання	Час стабілізації	Мін. коливання	Макс. коливання	Перевищення	Заниження	Пік	Час піку	Енерг. імпульсу
4	1.3596	2498.7	-4.1480E-7	30000	(1/52)*1e-3	3.3934e-05	1.2334e-04	0.9526	1.0761	7.2125	0	1.0761	9.0000e-05	6.525e-05
5	1.3386	2165.6	7.9489E-6	29839	(1/52)*1e-3	3.1348e-05	1.4469e-04	0.9714	1.0485	4.7898	0	1.0485	7.0000e-05	7.202e-05

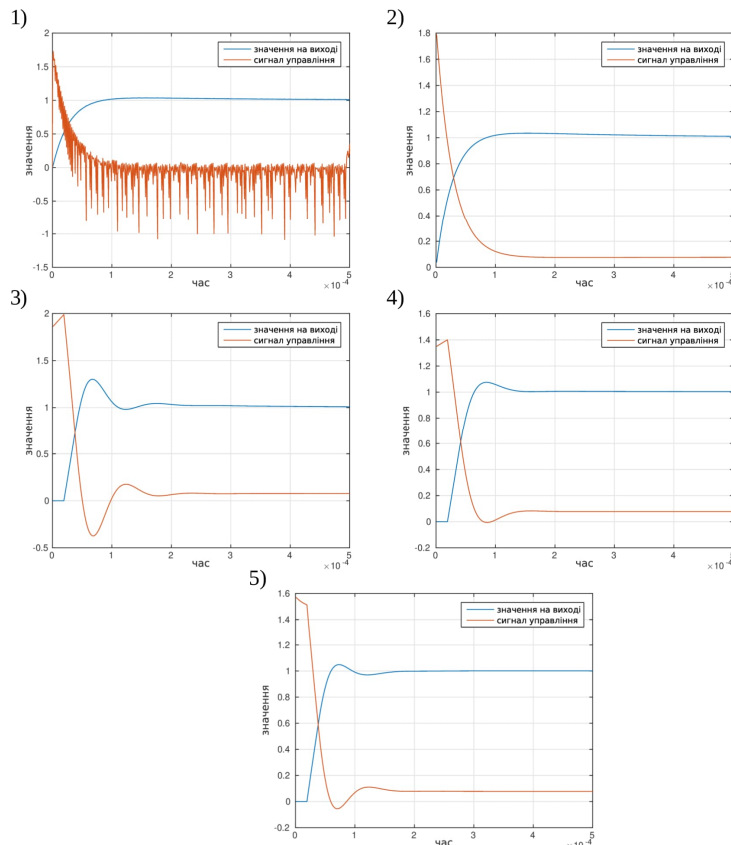


Рис. 1. Порівняння роботи ПІД регулятора з використанням різних підходів до оптимізації

Для цифрового управління також важливо підібрати величину періоду дискретизації. Чим менший інтервал часу між дискретними значеннями, тим більша точність управління. Однак, занадто малий період дискретизації може призвести до нераціонального збільшення обчислювальних витрат [10].

З діаграми залежності найбільшої миттєвої різниці сигналів від періоду дискретизації на рис. 2 видно, що ця залежність є лінійною, збільшення періоду дискретизації t_s на порядок призводить до збільшення максимальної похибки теж на порядок.

Наочно побачити вплив дискретизації на точність управління можна на прикладі порівняння моделі з кроком дискретизації $1e-5$ секунди та моделі з по суті безперервним сигналом управління на рис. 3.

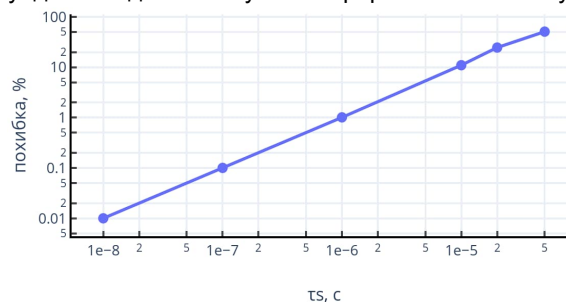


Рис. 2. Найбільша миттєва різниця сигналів залежно від періоду дискретизації

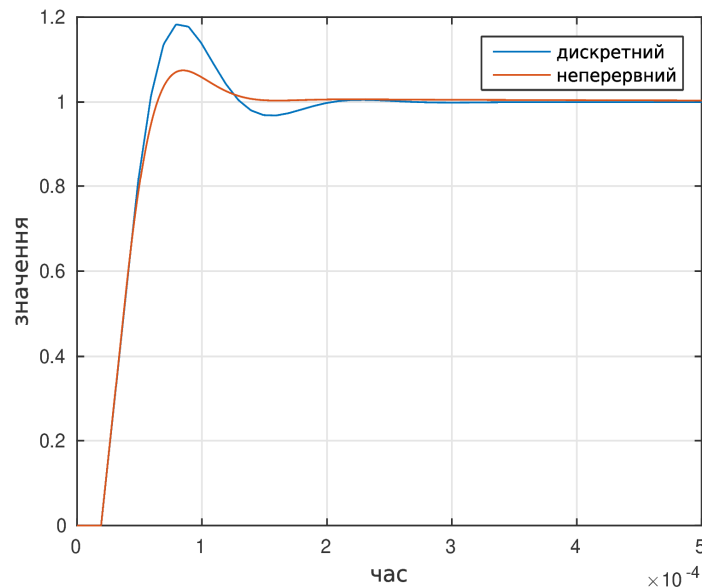


Рис. 3. Порівняння сигналів з кроком дискретизації $1e-5$ с і неперервного

Висновки. Використовуючи PID Tuner справді зручно задавати початкові значення параметрів PID регулятора. Цим методом можна швидко задати параметри, втім, він не завжди дає можливість досягти потрібних показників управління, часом вони можуть бути лише наближені до потрібних. Для подальшої оптимізації параметрів PID регулятора вирішено скористатись компонентом Response Optimizer, що дозволяє шукати оптимальні значення параметрів з врахуванням заданих обмежень.

Також було досліджено вплив періоду дискретизації на точність управління, показано, як найбільша миттєва різниця між сигналами залежить від дискретизації і як це впливає на точність управління системою.

Разом з тим, залишається низка напрямків для подальших досліджень з метою оптимізації управління процесом плазмового оброблення металів:

1. Побудова каналів вимірювання струму і напруги дуги для симуляційної моделі дугового процесу.
2. Аналіз процесів в регуляторі для випадку з нестационарним характером опору плазмотрону.

Список використаних джерел

1. Плазмове оброблення [Електронний ресурс] / Wikipedia. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%B7%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F.
2. Верещаго Е. Н. Схемотехника инверторных источников питания для дуговой сварки. учеб. пособие / Е. Н. Верещаго, В. Ф. Квасницкий, Л. Н. Мирошниченко, И. В. Пентегов. – Николаев : УГМТУ, 2000. – 283 с.
3. Kumar M. Comparison of modeling techniques for selecting optimized and automated plasma cutting process parameters / M. S. Kumar, B. Dhanasekar, G. R. Janardhana, S. Paramasivam, K. S. J. Kumar // International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing / Department of Mechanical Engineering, JNTU. – Kakinada : World Scientific, 2012. – Vol. 03.
4. Guoping L. Research on Current Control Technology of Fine Plasma Cutting / L. Guoping, C. Qi, F. Yujian // Advances in Engineering Research / Incheon National University of South Korea. – Jeju Island : Atlantis Press, 2016. – Vol. 93. – P. 380–386. – (Advances in Engineering Research Series).
5. Jia, D. L. Modeling and simulation of inverted plasma cutting power supply / D. L. Jia, B. You, X. Y. Zhang, F. J. Zhang. – 2009.
6. Гоголюк П. Ф. Теорія автоматичного керування. Навчальний посібник / П. Ф. Гоголюк, Т. М. Гречин – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2009. – 280с.
7. Рябенський В. М. Основи моделювання систем і процесів в електротехніці (Використання пакета прикладних програм MATLAB/Simulink): навч. посібник / В. М. Рябенський, С. В. Драган, Л. В. Солобуто. – Л. : Новий Світ-2000, 2008. – 384 с.
8. Getting Started with Simulink, Part 4: How to Tune a PID Controller [Electronic resource] / YouTube. – Regime of access: <https://www.youtube.com/watch?v=CjrdeKxUY>.
9. Optimizing system using Simulink Design Optimization | Webinar | @MATLABHelper [Electronic resource] / YouTube. – Regime of access: <https://www.youtube.com/watch?v=jytdDhPJXIM>.
10. Білінський, Й. Й. Електронні системи: навч. посібник / Й. Й. Білінський, К. В. Огороднік, М. Й. Юкиш. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 208 с.

УДК 681.518.3

Прищепов Є.О.

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

РЕФЛЕКОМЕТРИЧНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ РІВНЯ НА БАЗІ ІНТЕГРАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА «ЧАС-КОД»

У різних сферах діяльності людини необхідно вимірювати параметри зберігання рідких і сипучих середовищ. Серед цих параметрів одним із найважливіших є рівень. Це призвело до розробки цілого ряду методів вимірювання рівня. Одним з них є метод імпульсної рефлектметрії, заснований на аналізі реакції об'єкта, що досліджується, на короткий зондуєчий імпульс [1].

За участю автора було розроблено інформаційно-вимірювальну систему вимірювання параметрів зберігання рідких і сипучих середовищ (у тому числі й рівня), засновану на методі імпульсної рефлектметрії. Принцип дії та особливості системи розглянуті у численних роботах, наприклад, у [2-4].

Однак, стробоскопічне перетворення [5], що використовується в даній системі, дуже ускладнює її апаратно-програмне забезпечення та вносить специфічні похибки у процес виміру.

Метою роботи є розробка рефлектметричного вимірювального перетворювача без використання стробоскопічного перетворення. Ця мета була досягнута за рахунок застосування інтегрального перетворювача «час-код».

Розроблений вимірювальний перетворювач призначений для вимірювання рівня рідких та сипучих середовищ у резервуарах з метою забезпечення контролю технологічних процесів у режимі реального часу, у тому числі на судах та об'єктах морської інфраструктури.

Метод імпульсної рефлектметрії, стосовно задачі вимірювання рівня рідких і сипучих середовищ, реалізується наступним чином. В електричну двопровідну лінію, що має в «сухому» вигляді повітряне заповнення між провідниками, надсилається зондуєчий імпульс напруги, який поширюється зі швидкістю:

$$g = c / \sqrt{\varepsilon}, \quad (1)$$

де c – швидкість електромагнітної хвилі у двопровідній лінії з повітряним заповненням між провідниками; ε – відносна діелектрична проникність середовища, яким заповнено простір між провідниками двопровідної лінії.

Середовище, що знаходиться у резервуарі, заповнює простір між провідниками двопровідної лінії. Хвильовий опір двопровідної лінії залежить від її геометричних розмірів, які є постійними, та від відносної діелектричної проникності заповнення між її провідниками. Тому хвильові опори ділянок двопровідної лінії, що знаходяться в контрольованому середовищі та в повітрі, відрізняються. В результаті на межі розділу «повітря-середовище» виникає стрибок хвильового опору від якого відбивається зондуєчий імпульс.

Відстань від джерела зондуєчих імпульсів до стрибка хвильового опору пропорційна часу затримки відбитого імпульсу відносно зондуєчого:

$$L = 0,5 \cdot g \cdot t_d, \quad (2)$$

де t_d – час затримки відбитого імпульсу відносно зондуєчого.

Тому, знаючи висоту резервуара та час затримки відбитого імпульсу відносно зондуєчого, можна визначити рівень контрольованого середовища.

Характеристика, одержувана внаслідок зондування двопровідної лінії, називається рефлектограмою. Приклад рефлектограми наведено на рис. 1. Стрибок хвильового опору виникає не тільки на межі розділу «повітря-середовище», але і на розімкнутому нижньому кінці двопровідної лінії, що призводить до появи ще одного відбитого імпульсу.

На рис. 1 імпульс 2, відбитий від стрибка хвильового опору в двопровідній лінії на межі розділу «повітря-середовище», затриманий відносно зондуєчого імпульсу 1 на час t_d . Значення t_d визначається відстанню від джерела зондуєчих імпульсів до рівня контрольованого середовища. Імпульс 3 являє собою імпульс, відбитий від стрибка хвильового опору на розімкнутому нижньому кінці двопровідної лінії.

Конструктивно вимірювальний перетворювач складається з наступних основних вузлів:

- електронна плата перетворювача (ЕПП);
- корпус перетворювача (КП);
- чутливий елемент перетворювача (ЧЕП).

ЕПП, що забезпечує реалізацію основних функцій вимірювального перетворювача, встановлена в КП, який захищає її від зовнішніх впливів. ЧЕП є електричною двопровідною лінією, в яку посилюється зондуєчий імпульс, і має безпосередній контакт з контрольованим середовищем.

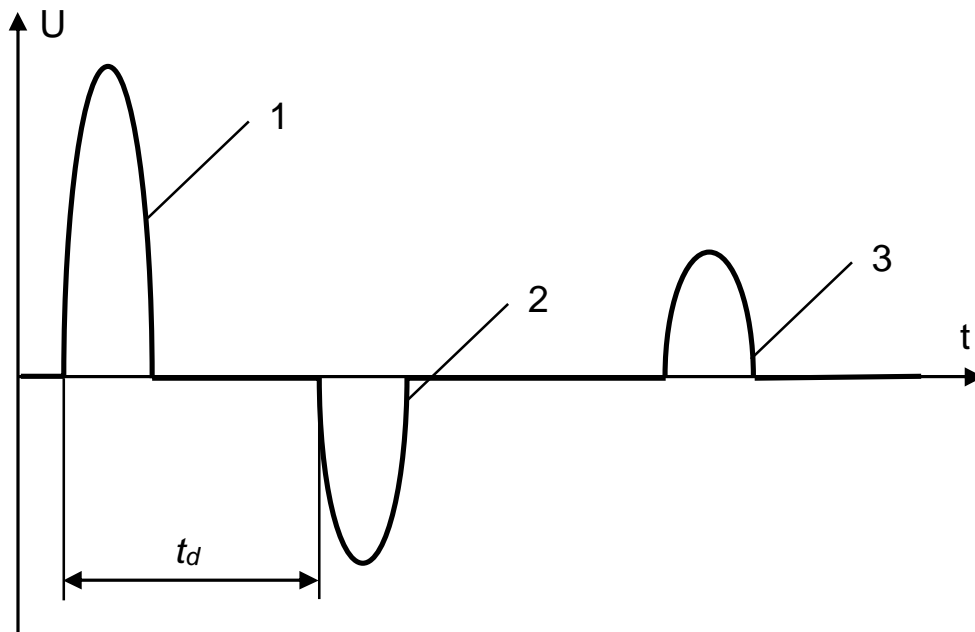


Рисунок 1 – Рефлектограма

Приклад розташування вимірювального перетворювача у резервуарі, що містить рідке або сипуче середовище, представлений на рис. 2.

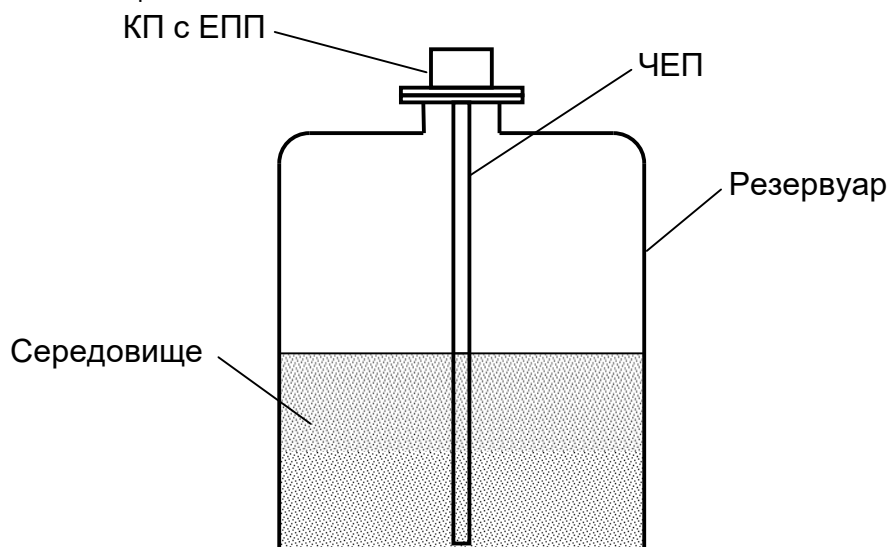


Рисунок 2 – Приклад розташування вимірювального перетворювача у резервуарі

Функціональна схема ЕПП представлена на рис. 3.

До складу функціональної схеми входять:

- перетворювач інтерфейсів (ПІ);
- мікроконтролер (МК);
- генератор зондуючих імпульсів (ГЗІ);
- джерело напруги зміщення (ДНЗ);
- джерело напруги порога (ДНП);
- компаратор (КМП);
- перетворювач «час-код» (ПЧК);
- перетворювач температури (ПТ);
- стабілізатор напруги 1 (СН1);
- перетворювач постійної напруги (ППН);
- стабілізатор напруги 2 (СН2).

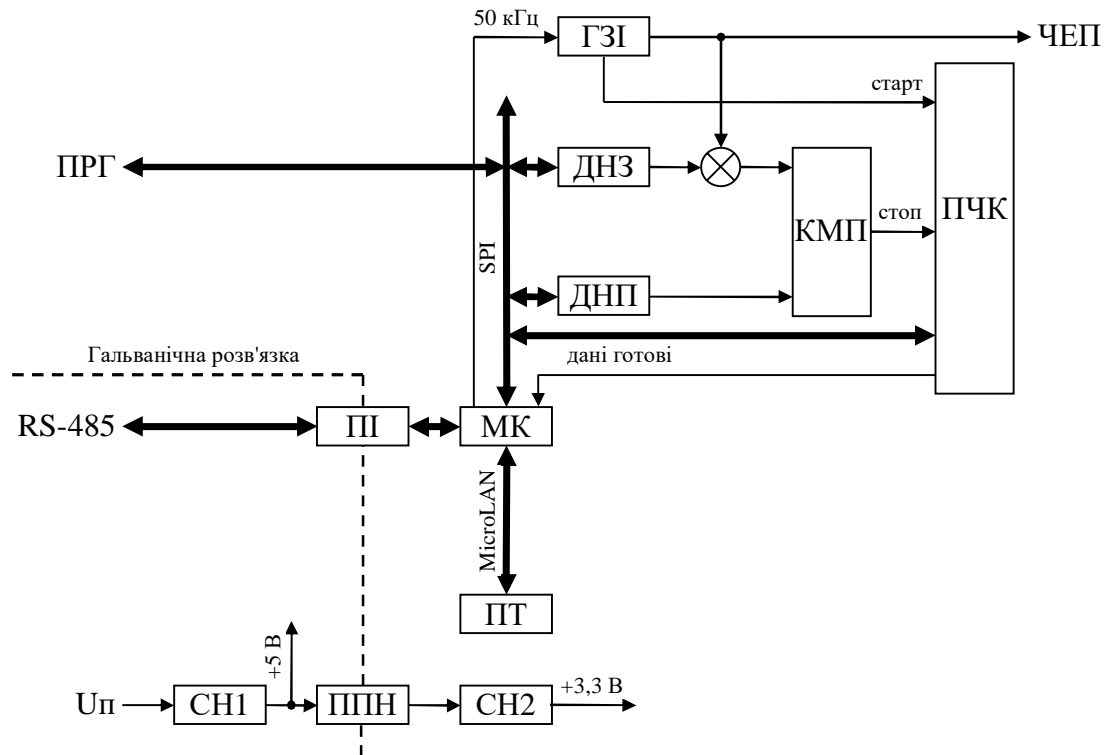


Рисунок 3 – Функціональна схема ЕПП

МК призначений для управління вимірювальним процесом та організації підключення вимірювального перетворювача до мережі на основі інтерфейсу RS-485. ПІ служить для узгодження сигналів МК із сигналами інтерфейсу RS-485, забезпечуючи при цьому гальванічну розв'язку відповідних ланцюгів.

У процесі роботи МК постійно генерує тактові імпульси частотою 50 кГц, що запускають ГЗІ. ГЗІ, у свою чергу, генерує зондуєчі імпульси, що посилюються в ЧЕП, і синхронно з кожним зондуєчим імпульсом - сигнал "старт", що надходить на відповідний вхід ПЧК.

Рефлектограма, отримана в результаті зондування ЧЕП, підсумовується з постійною напругою зміщення, що формується ДНЗ, і подається на один із входів КМП. Підсумовування необхідне для зміщення рефлектограми у діапазон входних напруг КМП. На інший вхід КМП подається постійна напруга порога, що формується ДНП. При досягненні відбитим імпульсом напруги порога КМП генерує сигнал «стоп», що надходить на відповідний вхід ПЧК.

ПЧК вимірює затримку сигналу «стоп» відносно сигналу «старт», що відповідає затримці відбитого імпульсу відносно зондуєчого. Після закінчення вимірювання затримки ПЧК генерує сигнал «дані готові», що надходить на МК. Отримавши сигнал «дані готові», МК зчитує з ПЧК результат вимірювання затримки за допомогою інтерфейсу SPI.

Крім цього, за допомогою інтерфейсу SPI МК управляє роботою ДНЗ, ДНП та ПЧК. Інтерфейс SPI також використовується для підключення програматора (ПРГ) під час запису керуючої програми вимірювального перетворювача в МК.

Наявність ПТ на ЕПП дозволяє вносити поправку до результатів вимірювань залежно від температури навколишнього середовища, використовуючи відому функцію температурної корекції вимірювального перетворювача. ПТ підключається до МК з допомогою інтерфейсу MicroLAN.

CH1 забезпечує зниження напруги живлення $U_{п}$ до стабілізованої напруги +5 В, призначеної для живлення ПІ з боку інтерфейсу RS-485. ППН призначений для забезпечення гальванічної розв'язки ланцюгів живлення вимірювального перетворювача. CH2 забезпечує зниження напруги +5 В до стабілізованої напруги +3,3 В, призначеної для живлення інших частин вимірювального перетворювача.

Діаграма роботи ЕПП представлена на рис. 4.

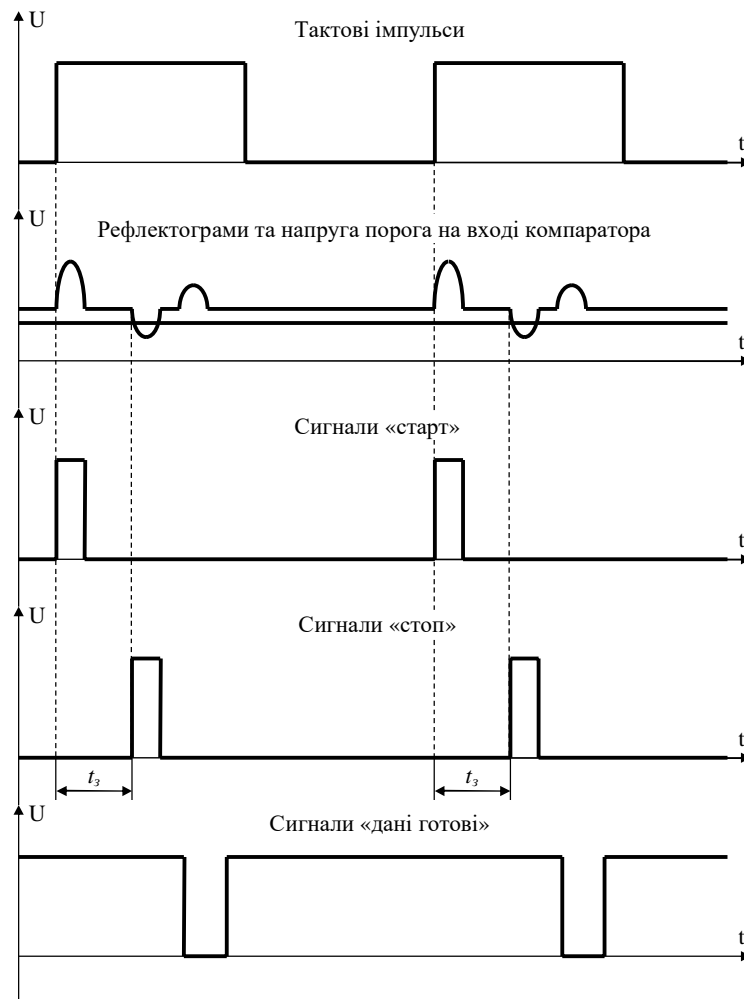


Рисунок 4 – Діаграма роботи ЕПП

Висновки. Розроблений вимірювальний перетворювач має просту конструкцію і при цьому забезпечує досить високу точність вимірювань.

Завдяки відсутності рухомих частин та застосуванню сучасних технологій, гарантується проведення високонадійних вимірювань рівня навіть у складних технологічних умовах, таких як: присутність пилу, пара, турбулентності, утворення бульбашок, кипіння, наявність конструкційних деталей у резервуарі тощо. Конструкція вимірювального перетворювача забезпечує зручність монтажу, налаштування та дозволяє використовувати його, у тому числі, у малих резервуарах та в резервуарах зі складною конфігурацією.

Вимірювальний перетворювач оснащений послідовним цифровим інтерфейсом RS-485 з підтримкою протоколу Modbus RTU. Це забезпечує як об'єднання необхідного числа вимірювальних перетворювачів у мережу, так і їх інтеграцію у вже існуючі промислові мережі, які побудовані на основі вищезазначених стандартів.

Список використаних джерел

1. Исследование объектов с помощью пикосекундных импульсов [Текст] / Г.В. Глебович, А.В. Андриянов, Ю.В. Введенский и др.; Под ред. Г.В. Глебовича. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с.
2. Zhukov Y.D., Gordeev B.N., Logvinenko Y.I., Prischepov E.O. Computerized maritime polymetric systems [Text] // Proc. of the 2-th International Conf. on Marine Industry (MARIND'98). – Varna (Bulgaria), 1998. – V. III. – P. 245-252.
3. Zhukov Y.D., Gordeev B.N., Greshnov A.Y., Prischepov E.O. Onboard computer aided system for monitoring and control of stability affecting parameters [Text] // Proc. of the 6-th International Conf. on Stability of Ships and Ocean Vehicles (STAB'97). – Varna (Bulgaria), 1997. – V. II. – P. 239-245.
4. Полиметрические системы: теория и практика : Монография [Текст] / Ю.Д. Жуков, Б.Н. Гордеев, А.В. Зивенко, А.Ю. Грешнов, О.А. Зимина, В.Н. Чегринцев, Е.О. Пришепов; под ред. Ю. Д. Жукова. – Николаев : Атолл, 2013. – 382 с.
5. Рябинин Ю.А. Стробоскопическое осциллографирование. Изд. 2-е, дополненное и переработанное [Текст]. М.: Изд-во "Советское радио", 1972, 272 с.

СЕКЦІЯ 3. АВТОМАТИКА, ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ І ПРИСТРОЇ

УДК 629.12:629.56

Баланський В.П., аспірант PhD, Ковальчук М.С., аспірант PhD, Волянський Ю.С., магістр,
Волянська Я.Б., д.т.н., Волянський С.М., к.т.н.
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ МОРСЬКИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Як відомо, класична кінематика розглядає геометричні аспекти руху після визначення сил і моментів і, відповідно, прискорень. У загальному і найбільш розповсюдженому припущенні, морський транспортний засіб (наприклад – корпус автономного плавального апарата (АПА), являє собою тверде тіло із 6 ступенями свободи (6DoF). Це пояснюється тим, що для визначення положення і орієнтації АПА необхідні 6 незалежних координат – три для осового переміщення і три для кутового переміщення (рис. 1, а): «surge» (поздовжньо-горизонтальна) – зміщення в напрямку X ; «sway» (поперечно-горизонтальна) – зміщення у напрямку Y ; «heave» (вертикальна) – зміщення у напрямку Z ; «roll» (бортова качка) – обертання навколо вісі X ; «pitch» (кільова качка) – обертання навколо вісі Y ; «yaw» (нишпорення) – обертання навколо вісі Z . [1, 2].

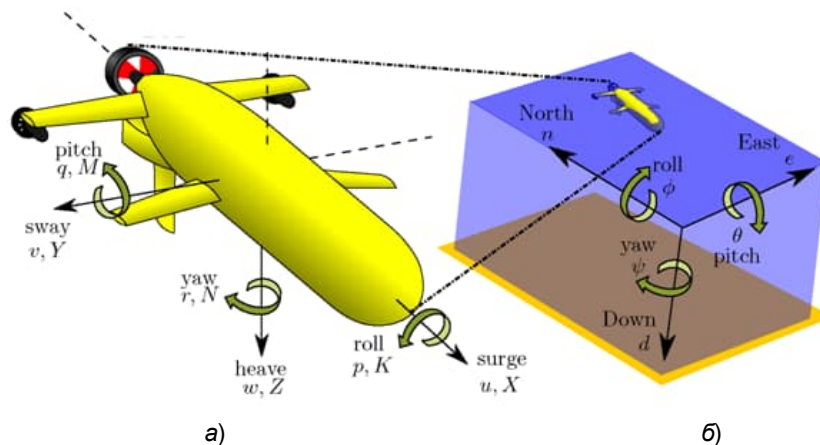


Рисунок 1 – Типові системи координат: система корпусу (а); NED-система (б)

У морській навігації прийнято використовувати дві основні системи координат: систему корпусу, зв'язану з транспортним засобом (що застосовується для керування всіма силами і прискореннями, які виникають у засобі) і систему, зв'язану із Землею, яка застосовується для розрахунку параметрів руху транспортного засобу. Існує кілька подібних систем: інерціальна система відліку, центрована відносно Землі (ECI-система); орієнтована на Землю фіксована система координат (ECEF-система) і координатна система *The North-East-Down system* (NED-система), яка визначає розташування координат відносно еліпсоїду Землі (у подальшому використана NED-система (рис. 1, б) [3]).

Метою роботи є розробка спрощеної 3DoF моделі горизонтального руху автономного плавального апарата.

Якщо АПА рухається тільки на поверхні води, то математична модель його руху спрощується до 3 ступенів свободи (3DoF): поздовжньо-горизонтальної і поперечно-горизонтальної складових та нишпорення (рухом у інших координатах нехтуємо). Таким чином, вектори положення і швидкості мають наступний вигляд:

$$\eta = \begin{bmatrix} n \\ e \\ \psi \end{bmatrix}, v = \begin{bmatrix} u \\ \vartheta \\ r \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Припускаючи, що складова u_g дорівнює нулю, матриці твердого тіла можна спростити:

$$M_{TT} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & mx_g \\ 0 & mx_g & I_z \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$C_{TT} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -m(x_g r + \vartheta) \\ 0 & 0 & m u \\ m(x_g r + \vartheta) & -m u & 0 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Через симетрію площині xz можна знехтувати декількома коефіцієнтами, залишаючи тільки коефіцієнти сили X відносно швидкості руху вперед і коефіцієнти складових Y і N відносно швидкостей ϑ і r . Крім того, нехтуючи матрицею лінійного демпфірування D_n , матриці гідродинамічних сил і моментів спрощуються наступним чином:

$$M_{\text{доб}} = \begin{bmatrix} X_{\dot{u}} & 0 & 0 \\ 0 & Y_{\dot{\vartheta}} & Y_r \\ 0 & N_{\dot{\vartheta}} & N_r \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$C_{\text{доб}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & Y_{\vartheta}\vartheta + Y_r r \\ 0 & 0 & -X_{\dot{u}}u \\ -(Y_{\vartheta}\vartheta + Y_r r) & X_{\dot{u}}u & 0 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$D_n = \begin{bmatrix} X_{|u|} / |u| & 0 & 0 \\ 0 & Y_{|\vartheta|} / |\vartheta| & Y_{|r|} / |r| \\ 0 & N_{|\vartheta|} / |\vartheta| & N_{|r|} / |r| \end{bmatrix}, \quad (6)$$

Приймаємо $g(\eta) = [0 \ 0 \ 0]^T$ при $\phi = \theta = 0$.

На прикладі АПА типу *Guanaу-II* керуючі входи τ складаються з сили, що забезпечує стрибкоподібний рух з використанням трьох рушіїв, і крутного моменту для обертального руху з використанням бічних рушіїв:

$$\tau = \begin{bmatrix} \text{Prop} \\ 0 \\ \text{Torque} \end{bmatrix} \begin{cases} \text{Prop} = X_{\text{гл}} + X_{\text{л}} + X_{\text{пр}} \\ \text{Torque} = a_n (X_{\text{л}} - X_{\text{пр}}) \end{cases}, \quad (7)$$

де a_n – відстань від бічних рушіїв до центральної вісі, $X_{\text{гл}}$, $X_{\text{л}}$ і $X_{\text{пр}}$ – сили основного, лівого і правого рушіїв, відповідно.

Динаміка має справу з силами і моментами, які генерують прискорення. Вони розраховані у системі корпусу і приведені у залежності від вектора швидкості v . Рівняння динаміки має вигляд

$$M \dot{v} + C(v)v + D(v)v + g(\eta) = \tau + g_0 + w, \quad (8)$$

де M – матриця інерції системи (включаючи додану масу); $C(v)v$ – доцентрова матриця Коріоліса (включаючи додану масу); $D(v)v$ – матриця демпфірування; $g(\eta)$ – вектор гравітаційних/плавучих сил і моментів; τ – вектор керуючих входів; g_0 – вектор, який використовується для попередньої обробки (контроль баласту); w – вектор зовнішніх збурень (вітер, хвилі і течія). Складові (8) враховують інерційний і неінерційний вплив твердого тіла транспортного засобу і вплив рідини на АПА. [4]

Динаміка твердого тіла повинна враховувати коріолісовий і відцентровий ефекти, викликані тим, що корпус не є інерційним:

$$M_{\text{тт}} \dot{v} + C_{\text{тт}}v = \tau_{\text{гцдр}}, \quad (9)$$

де $M_{\text{тт}}$ – матриця інерції твердого тіла; $C_{\text{тт}}$ – доцентрова матриця Коріоліса твердого тіла, $\tau_{\text{гцдр}}$ – узагальнений вектор зовнішніх сил і моментів.

Гідродинамічні сили і крутний момент, викликані потоком води, складно розрахувати, оскільки вода є рідиною у відкритому просторі. У класичній теорії моделювання для гідродинамічних сил, зазвичай, використовуються два способи параметризації: усичене послідовне розкладання у ряд Тейлора з використанням членів до третього порядку і використання модулів членів другого порядку з розрахунком сил як суми 5 компонентів:

$$\tau_{\text{гцдр}} = \tau_{1w} + \tau_{2w} + \tau_p + \tau_{v'яз} + \tau_{г.ст}, \quad (10)$$

де

– сили збудження хвиль першого порядку τ_{1w} являють собою середнє значення коливальних сил, викликаних хвилями;

– сили збудження хвиль другого порядку τ_{2w} включають середні дрейфові навантаження, хвильові навантаження, які повільно змінюються (різницевої частоти) і швидко змінюються (сумарні частоти);

– радіальні сили τ_p , що з'являються як наслідок зміни імпульсів рідини і хвиль, що виникають в результаті руху корпусу. Ці сили пропорційні прискоренням і швидкостям судна. Поділяються на сили приєднаної маси (сили, пропорційні прискоренням) і сили потенціалу демпфірування (сили, пропорційні швидкостям);

– сили в'язкості $\tau_{v'яз}$, як нелінійні сили демпфірування, виникають через нелінійні явища, обумовлені ефектами в'язкості. За допомогою цих сил кінетична енергія корпусу АПА передається рідині (тертя обшивки, поділ потоку, утворення вихорів);

– гідростатичні сили $\tau_{г.ст}$, що виникають із-за сили тяжіння і плавучості, забезпечують рівновагу судна (відновлюючи сили). [5]

На підставі рівнянь (8), (9) і (10) і у припущенні, що збурення w несуттєві, динаміка АПА описується наступним чином:

$$(M_{тг} + M_{доб})\dot{v} + (C_{тг} + C_{доб})v + D_{тг}v = \tau . \quad (11)$$

Висновки. Визначені особливості процесів моделювання руху морських транспортних засобів у типових системах координат. Наведена спрощена 3DoF модель горизонтального руху автономного плавального апарата, яка в подальшому використовується модель при стабілізації руху АПА при його русі уперед із оцінкою стійкості АПА.

Список використаних джерел

1. Yuh, J. Applications of marine robotic vehicles / J. Yuh, G. Marani, R. Blidberg // *Intellegent Service Robotics*. – 2011. – Vol. 2. – P. 221–231.
2. Truong Quang Dinha. Optimal control and real-time simulation of hybrid marine power plants. Optimal control and real-time simulation of hybrid marine power plants / Truong Quang Dinha, Truong Minh Ngoc Buia, James Marcoa, Chris Wattsb // In: 14th International Naval Engineering Conference and Exhibition 2018. – Glasgow, UK, 2-4 Oct 2018. – P. 1–14. The university of Warwick / Warwick Research Publicationsю
3. Volyanskaya, Ya. Synthesis of mathematical model of controlled electromotive device of pilotless floating vehicle / Ya. Volyanskaya // [IOP Conference Series: Earth and Environmental Science](#). – 2018. – Vol. 172 (2018), 012008.
4. Kadiyam, J. Conceptual design of a hybrid propulsion underwater robotic vehicle with different propulsion systems for ocean observations / J. Kadiyam, S. Mohan // *Ocean Engineering*. – 2019. – Vol. 182. – P. 112–125.
5. Phillips, A. B. Understanding the power requirements of autonomous underwater systems, Part I: An analytical model for optimum swimming speeds and cost of transport / Phillips A. B., Haroutunian M., Murphy A. J., Boyd S.W., Blake J. I. R., Griffiths G. // *Ocean Engineering*. – 2017. – Vol. 133. – P. 271–279.

УДК 621.8

Перевозчиков П.К., Войтасик А.М., к.т.н., доцент

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

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КОНСОЛЬНО-ПОВОРОТНОГО КРАНА ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ 0,3 Т

На сьогоднішній день, на ринку будівельної техніки існує досить широкий ряд різноманітного вантажопідіймального обладнання призначеного для підйому вантажів при проведенні будівельних, ремонтних, монтажних та інших робіт [1]. Однак, досить часто при цих роботах доводиться стикатися з проблемою не лише вертикального підйому вантажу, на що розрахована більшість цього обладнання, а також, в необхідності перемістити вантаж в горизонтальній площині. У цих випадках користуються таким різновидом вантажопідіймального обладнання, як електрична таль укомплектована вантажною платформою переміщення. Електричні талі (електроталі) використовують при високих навантаженнях, для більш швидкого переміщення вантажу. Вони, в порівнянні з ручними лебідками, допомагають набагато мінімізувати фізичні зусилля та підвищити продуктивність праці. Серед широко різноманіття вантажопідіймальних машин окремої уваги заслуговують консольно-поворотні крани призначені для обробки вантажів на території виробничих майстерень, цехів та ангарів. Залучення подібного обладнання до виробничого процесу матиме суттєвий економічний ефект та підвищить рівень продуктивності роботи підприємства. Актуальними, на разі, є напрямки дослідження ефективності роботи вантажопідіймальних машин з можливістю енергозбереження [2-4].

Метою роботи є огляд конструктивних особливостей вантажопідіймальних кранових механізмів, які застосовують електропривод та вибір певного типу для його подальшої розробки та реалізації.

Вантажопідіймальні машини є машинами безперервної (циклічного) дії і широко поширені при виконанні будівельно-монтажних, ремонтних, складських та інших робіт, пов'язаних з підйомом і переміщенням різних вантажів. Розміри, конструктивні форми і складність пристрою вантажопідіймних машин залежать від їх призначення, роду переміщуваних вантажів і умов роботи [5].

Механізми підйому/спуску вантажу розташовується на крановому візку. Всі візки комплектують декількома механізмами підйому/спуску вантажу. Для важких вантажів, середніх і зовсім легких. Механізми підйому/спуску залежать від призначення крана, які вантажі він піднімає, на яку висоту і якою вагою. Наприклад, якщо вантаж піднімають за допомогою гаків, то використовують один механізм підйому вантажу.

Цей механізм передбачає наявність: гальм; барабана; вантажного каната; блоків; редуктора; трансмісійного вала; електродвигуна з приводом.

Механізми підйому/спуску, призначені для більш важких вантажів (>3 т), мають таку ж конструкцію, тільки додатково можуть мати ще один редуктор [6]. Якщо вантаж піднімають на велику висоту, то довжина каната, який накручується на барабан, може збільшуватися. Вона буде значно більше того каната, який буде намотаний в один шар. Якщо все ж необхідно використовувати такий довгий канат, то в такий момент використовують спеціальні механізми, які називаються канати-укладальниками. Завдяки таким канатам-укладальникам весь довгий канат рівномірно накрутиться на барабан і вийде гарний шар каната. У свою чергу вони бувають гвинтові, кривошипні, кулачкові та інші.

На вантажні платформи механізмів переміщення можуть встановлювати механізми повороту лебідки. Вони потрібні для обмеження розгойдування підвішеного вантажу [7]. Найголовнішою умовою для механізму переміщення платформи є те, щоб до нього був безперешкодний доступ. Тобто при будь-якій поломці не повинно виникати необхідності розбирати візок, щоб її підремонтувати. У свою чергу підвісні платформи бувають монорейкові і дворейкові, а опорні платформи бувають по призначенню для двобалкових і однобалочних кранів. Платформи можуть пересуватися як самостійно, так і за допомогою канатної тяги.

Платформи з канатною тягою застосовуються для кранів з невеликими вантажами. Але у платформ даного типу є істотні недоліки: в процесі експлуатації канати у візків швидко зношуються.

При підйомі на висоту вантаж довгий час розгойдується і його необхідно зупинити додатковими засобами, щоб точно зорієнтувати в потрібне місце.

Монорейкові вантажні платформи застосовуються в основному на виробництві, всередині цеху, вони мають невелику вагу і невеликі розміри. Платформи консольно-поворотного крана використовуються для роботи з довгими вантажами. Така платформа має вантажну лебідку. Тут, щоб вантаж не розгойдувався, застосовують спеціальні опори для вантажу.

Механізми повороту по компоновці поділяють на дві групи: з горизонтальним і з вертикальним розташуванням двигуна.

Недолік механізму повороту з горизонтальним розташуванням двигуна у тому, що під час пуску і зупинки механізму консольна частина вихідного вала редуктора, на якій закріплена конічна шестерня, прагне зрушити циліндричний редуктор, внаслідок чого утворюються отвори і болти кріплення, ушкоджують лапи редуктора і швидко зношуються зуби конічної пари. Тому в таких механізмах потрібно уважно стежити за вузлами кріплення.

Гак крана є універсальним захоплюючим пристроєм, поширеним у багатьох галузях промисловості і виробництва. Найбільшу популярність він придбав в якості робочого елемента вантажопідйомної техніки, вантажозахоплювальних механізмів і строп використовуваних на будівельних майданчиках.

Основною складовою частиною крана є гакова підвіска, призначена для підйому і переміщення різного роду вантажів. Конструкція підвіски включає в себе дві металеві пластини, між якими розміщений канатний блок на підшипниках (поліспасти) і гак, закріплений на траверсі (обертається металевої перекладки).

Залежно від кількості осей з канатними блоками крюки кранові підвіски поділяються на одно-, дво- і три-вісні. За розміром і способом кріплення траверси розрізняють укорочені і нормальні кранові підвіски. У першому випадку перекладка розташована безпосередньо на осі блоків, при цьому їх кількість обов'язково буде парною. У нормальній підвісці траверсу кріплять на спеціальних щоках, які і з'єднують її з канатними блоками. У міру збільшення вантажопідйомності підвіски змінюється і режим роботи її механізму. Для навантажень <3 т кран оснащують підшипниками ковзання, >3 т – потрібні вже кулькові закриті опори (підшипники кочення). При вантажопідйомності в 50 т однорогий гак замінюють на дворогий.

Більшість гаків оснащено спеціальним запобіжним замком, який запобігає вислизання строп. Відсутність замку допускається на морських і портових кранах, на механізмах з гнучким вантажозахоплювальним пристроєм, на кранах, що переносять рідкий шлак або розплавлений метал. Існують гакові підвіски для електричних талей. Конструкція підвіски для талі складається з рухомих канатних блоків і гака, які з'єднують траверсу і щоки. Шарикопідшипникові опори забезпечують блокам і гаку легке обертання без заклинювання. Кріпиться елемент на трос або ланцюг талі, і чим вище вантажопідйомність механізму, тим більше габарити самої підвіски. Гакові підвіски є дуже важливим вузлом, перед кожною експлуатацією її ретельно перевіряють і оцінюють стан елементів.

Системи керування електропривода консольно-поворотного крана, робота якої при певних обставинах може загрожувати безпеці людей, має забезпечуватися кнопками або іншими вимикаючими пристроями (аварійні вимикачі), що забезпечують відключення живлення електричного привода [8]. Ці кнопки і/або інші вимикачі чи пристрої безпеки повинні бути захищені від випадкового приведення в дію.

Кнопки або інші вимикачі чи пристрої безпеки повинні бути розташовані поблизу постів керування або в інших місцях, що забезпечують безпеку експлуатації [9]. В електричних приводах консольно-поворотного крана, в яких для уникання ушкоджень або аварійних випадків потрібне обмеження руху, повинні бути передбачені або кінцеві вимикачі, що забезпечують надійне відключення електричного двигуна, або механічні обмежувачі руху.

В схемах керування електропривода консольно-поворотного крана повинні бути передбачені граничні вимикачі, що зупиняють роботу всього електропривода [10]. Пускорегулююча апаратура повинна допускати можливість пуску електричного двигуна тільки з нульового положення. При застосуванні прямого пуску електричних двигунів змінного струму має бути враховано наступне: кабелі, що служать для живлення електричних двигунів змінного струму з прямим пуском, повинні бути розраховані, щоб падіння напруги на клеммах не перевищувало 25% номінальної напруги.

Висновки. В рамках виконання кваліфікаційної роботи запропоновано розробити електропривод консольно-поворотного крана вантажопідйомністю 0,3 т. Основне призначення розробки – автоматизація вантажопідйомних робіт при ремонті або будівництві, що дозволяє знизити трудовитрати на підйом/спуск малогабаритних вантажів, завдяки чому скорочуються терміни оздоблювальних, монтажних та інших видів робіт. Разом з тим, у подальшій роботі за наведеною темою, заплановано:

1. Розробку та розрахунок силових та енергетичних параметрів механізму підйому/спуску вантажів масою до 0,3 т.
2. Вибір складових елементів електрообладнання електропривода консольно-поворотного крана.
3. Розробку 3D моделі його конструкції з детальним описом прийнятих технічних рішень.

Список використаних джерел

1. Вантажопідйомальні машини та механізми, визначення та класифікація [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <http://budtehnika.pp.ua/621-vantazhopdymaln-mashini-ta-mehanzmi-viznachennya-ta-klasifikatsiya.html> (дата звернення: 03.02.2023).
2. Серкутан, В.И. Шляхи енергозбереження в установках з регульованим електроприводом. *Вісник ПДТУ №11*. – Маріуполь: 2001. – С. 1-3.
3. Choi J.Y., Kwon S.H., Choy I., Song J.H., Intelligent energy saving using neural networks. *Proceed of conf. on NN, IEEE*. Piscataway, 1998, №1. – P.245-250.
4. Мухін, Б.Д. Міленін, Д.М. Енергозбереження в електроприводі. *Автоматизовані електромеханічні системи*. – Харків: 2020. – С. 96.
5. Бондарев В.С., Дубинець О.І., Колісник М.П., Бондарев С.В., Горбатенко Ю.П., Барабанов В.Я. Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підйомальних і транспортувальних машин: підручник. – К.: 2009. – 734 с.

6. Лаврінченко Ю.М., Савченко П.І., Синявський О.Ю., Войтюк Д.Г., Голодний І.М. Основи електропривода: учбовий посібник. Київ: Ліра-К, 2017. 524 с.
7. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: учбовий посібник. Київ, 2005. 680 с.
8. Грибан В.Г., Негодченко О.В. Охорона праці: навч. посібник. Київ, 2009. 280 с.
9. Правила улаштування електроустановок [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72758 (дата звернення: 06.03.2023).
10. Правила пожежної безпеки в Україні [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: https://dnaop.com/html/31612/doc-%D0%9D%D0%90%D0%9F%D0%91_%D0%90.01.001-2004 (дата звернення: 08.03.2023).

УДК 621.8

Сербін П.О., Войтасик А.М., к.т.н., доцент

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

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СТІЛОВОГО КРАНА З НЕРУХОМОЮ ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ 13 Т

Перевезення сировини, напівфабрикатів або готової продукції з місця видобутку або виробництва в місця споживання чи переробки супроводжуються як мінімум двома вантажними операціями: завантаженням транспортного засобу і його розвантаженням. Вантажно-розвантажувальними називають такі роботи: завантаження і розвантаження рухливого складу (вагонів, автомобілів, суден), перевантаження з одного його виду в інший, сортування, перекидка і переміщення вантажів на складах. Кількість видів вантажів, перевезених різноманітним видом транспорту, все збільшується – зростає вантажообіг.

Крани відносяться до основного типу вантажопідіймальних машин і призначені для здійснення трьох рухів, підйому вантажу і його переміщення в двох напрямках та просторі [1]. Залежно від зони обслуговування і конструкції вони діляться на дві групи: прольотні та стрілові [2]. Застосування вантажопідіймальних кранів суттєво сприяє підвищенню якості проведення вантажних операцій та має суттєвий економічний ефект при організації робіт з обробки вантажів. Актуальними, наразі, є напрямки підвищення продуктивності та надійності роботи вантажопідіймальних кранів з можливістю енергозбереження [3-4].

Метою роботи є огляд конструктивних особливостей вантажопідіймальних машин, які застосовують електропривод та вибір певного типу для його подальшої розробки та реалізації.

Вантажопідіймальні машини і механізми призначені для переміщення вантажів різного типу і людей в вертикальній і горизонтальній площинах. По характеру дії вони відносяться до механізмів періодичної дії, які працюють в повторно-короткотривалому режимі [5]. Основним механізмом будь-якої вантажопідіймальної машини є механізм підйому вантажу. В залежності від типу машини в її конструкцію можуть входити механізм переміщення, механізм повороту, механізм зміни вильоту стріли, механізм переміщення кранового візка, механізм повороту башти, або стріли баштових або порталних кранів [6].

Прольотні крани монтують в приміщеннях і на відкритих площадках і обслуговують вони прямокутну площу прольоту. В залежності від конструкції прольотні крани діляться на мостові, козлові і мостокабельні.

Мостокабельні крани застосовуються для обслуговування великих виробничих площ або будівельних площадок. В цих кранах несучим органом є канат, по якому рухається вантажний візок. Прольоти кранів, як правило, як правило, становлять 150...600 м. В окремих випадках прольоти можуть перевищувати 1 км. Вантажоздатність цих кранів знаходиться в межах 1...25 т.

Опорні башти кранів можуть бути стаціонарними або пересувними, які переміщуються по підкрановому шляху [7]. Якщо одна башта нерухома, а друга рухається по дузі, то такі крани називаються радіальними мостокабельними.

У козлового кабельного крана, основою металоконструкції є вертикальні ферми і міст козлового крана. Вантажний візок переміщається по гнучкому несучому органу (канату), який кріпиться до ферм крана. Мостокабельний пересувний кран, складається з двох башт, між якими натягнутий несучий канат спеціальної конструкції. По несучому канату з допомогою тягового каната і механізму переміщення рухається вантажний візок з вантажозахоплюючим пристроєм. Для підйому і опускання вантажу застосовується механізм підйому з тяговим канатом. Для зменшення провисання підйомного і тягового канатів застосовують вузли підтримки [8].

Вантовий кран – це поворотний кран стріла якого закріплена, шарнірно, на вертикальній щоглі і утримується в рівновазі за рахунок канатних відтяжок – вантів. До стрілових пересувних кранів відносять: настінні неповоротні, і поворотні, велосипедні, баштові, порталні. Стрілові настінні пересувні крани з поворотними або неповоротними стрілами, які переміщуються по однорельсовому наземному шляху і утримуються верхньою направляючою, називаються велосипедними [9].

Область застосування баштових кранів – житлове і промислове будівництво. Стріла баштових кранів закріплена в верхній частині вертикальної башти. Баштові крани класифікуються за способом установаження – стаціонарні, самопідйомні, пересувні; за типами стріли – з підйомною, балочною, шарнірно з'єднаною стрілою; за типом башт – з неповоротною баштою, з поворотним оголовком, з поворотною баштою на порталі; за способом зрівноважування – зрівноваження стріли, зрівноваження вантажу, зрівноваження крана; за типом ходового обладнання – рейкові, автомобільні, пневмоколісні, гусеничні та крокуючі [10].

Область застосування порталних кранів – завантаження і розвантаження насипних і штучних вантажів в морських та річкових портах. Портальні крани рухаються по рельсовому шляху і складаються з порталу і поворотної частини із стрілою.

Стрілові крани – найпоширеніший вид кранів [11]. В цих кранах вантажозахоплюючий пристрій підвішений до стріли або вантажного візка, який переміщається по стрілі. В залежності від зони обслуговування стрілові крани діляться на стаціонарні і пересувні. В залежності від конструктивних особливостей і області застосування стрілові стаціонарні крани поділяються поворотні на колонні, настінні поворотні і підвісні поворотні, вантові.

Конструктивно, стріловий кран складається з нерухомої колони, стріли, вантажного поліспада, розтяжки стріли (стрілового поліспада), радіально-упорної цапфи, розтяжки противагової консолі, баласту, підйимального механізму, обертального пристрою з механізмом повертання та опорної плити, що закріплена у фундаменті. Конструктивно верхня опора (поворотна цапфа) подібна до нижньої опори крана з поворотною колоною.

Нижній поворотний пристрій являє собою обойму з роликми, на яких шарнірно закріплена стріла і противагова консоль. Ролики під час обертання перекочуються навколо колони. На поворотну частину діють додаткові сили від власної ваги її елементів.

Колона нижньою частиною встановлена у гнізді опорної плити, прикріпленої до фундаменту анкерними болтами. За конструкцією колони бувають ковані або литі. Іноді застосовують ґратчасті конструкції, які мають шийки і шипи для опор несівних конструкцій. Противага призначена для зменшення моменту, що згинає колоно. Механізми підймання вантажу і повертання крана конструктивно подібні до таких механізмів крана з поворотною колоною.

Механізми стрілового крану треба виконувати так, щоб довільне вмикання або роз'єднання механізмів підйому та повороту було неможливим [12]. Механізми підйому вантажу треба виконувати так, щоб унеможливити вимикання приводу без вмикання гальма, а опускання вантажу, щоб здійснювалося тільки від працюючого двигуна. У з'єднаннях елементів (болтових, шпонкових, шліцьових тощо) має бути виключене саморозгвинчування або роз'єднування.

Всі електричні кабелі та електропроводка на крані, що перебувають поза встаткуванням, повинні бути принаймні такого типу, що не поширює полум'я, і бути прокладені так, щоб не погіршувалися їхні первісні властивості відносно нерозповсюдження полум'я [13].

Кабелі та електропроводка, що живлять відповідальні або аварійні силові мережі, повинні бути встановлені та закріплені таким чином, щоб уникнути перетирання або іншого ушкодження. Підключення та з'єднання всіх провідників повинні бути виконані таким чином, щоб зберігалися первісні електричні та механічні властивості кабелю, а також його властивості щодо нерозповсюдження полум'я і якщо буде потреба вогнестійкості властивості. Освітлювальні арматури повинні бути влаштовані так, щоб запобігти підвищенню температури, що може ушкодити кабелі та проводку, а також запобігти надмірному нагріванню навколишніх матеріалів.

Висновки. В рамках виконання кваліфікаційної роботи запропоновано розробити електропривод стрілового крана з нерухомою колоною вантажопідйомністю 13 т. Основне призначення розробки – автоматизація вантажопідйомних робіт при проведенні будівництва з метою підвищення якості виконання і зменшення часу проведення вантажних операцій, що дозволить полегшити виконання технологічних робіт з розвантаження, завантаження та переміщення вантажів. Разом з тим, у подальшій роботі за наведеною темою, заплановано:

1. Розробку та розрахунок силових та енергетичних параметрів механізму підйому/спуску вантажів масою до 0,3 т.
2. Вибір складових елементів електрообладнання електропривода консольно-поворотного крана.
3. Розробку 3D моделі його конструкції з детальним описом прийнятих технічних рішень.

Список використаних джерел

1. Бондарев В.С., Дубинець О.І., Колісник М.П., Бондарев С.В., Горбатенко Ю.П., Барабанов В.Я. Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підйимальних і транспортувальних машин: підручник. – К.: 2009. – 734 с.
2. Ушаков Н.С. Мостові електричні крани. Л.: Машинобудування, 1971. 280 с.
3. Підвищення продуктивності мостового крана за рахунок застосування в його системі керування апаратно-програмної бази Arduino [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <http://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/view/1151> (дата звернення: 27.02.2023).

4. Динаміка та оптимальне керування рухом кранів. Монографія [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u132/monografiya_loveykin_romasevich_goldun_krushelnickiy.pdf (дата звернення: 23.02.2023).
5. Лаврінченко Ю.М., Савченко П.І., Синявський О.Ю., Войтюк Д.Г., Голодний І.М. Основи електропривода: учбовий посібник. Київ: Ліра-К, 2017. 524 с.
6. Воскобойник В.Е., Бородай В.А., Боровик Р.О., Нестерова О.Ю. Основи електропривода виробничих машин та комплексів: навч. посіб. – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2021. – 254 с.
7. Булгар В.В. Теорія електроприводу: збірник задач. – Одеса: ОНПУ, Поліграф, 2006 – 408 с. Грибан В.Г., Негодченко О.В. Охорона праці: навч. посібник. Київ, 2009. 280 с.
8. Видмиш А. А., Ярошенко Л.В.. Основи електропривода. Теорія та практика: навч. пос. Ч. 1. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
9. Dubey GK. Fundamentals of Electric Drives. – India: Narosa 2010. – 408 p.
10. Mohamed A.El-Sharkawi. Fundamentals of Electric Drives. – USA: Brooks/Cole Publishing Company, 2000. – 314 p.
11. Theodore W. Electrical Machines, Drives, and Power System. – Kuala Lumpur: Pearson Education, 2006. – 100 p.
12. Правила улаштування електроустановок [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72758 (дата звернення: 01.03.2023).
13. Винокурова Л.Е., Васильчук М.В., Гаман М.В. Основи охорони праці: навч. посібник. – К.: Вікторія, 2001. – 192 с.

УДК 621.8

Степаненко А.А., Войтасик А.М., к.т.н., доцент

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

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА П-ПОДІБНОГО ПЕРЕВАНТАЖУВАЧА ВАНТАЖОПІДЙОМНІСТЮ 0,8 Т

У більшості випадків електропривод перевантажувачів експлуатуються в закритих приміщеннях складів і цехів різного призначення в температурній межі від -20 до +20°C. Деякі моделі виробів допускають роботу їх електропривода на відкритому повітрі при температурах -40 до +40°C. Однак в цьому випадку вони повинні бути додатково захищені від впливу атмосферних опадів спеціальним металевим кожухом. Перевантажувачі застосовують для виконання вантажно-розвантажувальних і транспортних операцій [1, 2]. Вантажні платформи, які входять до складу їх конструкції рухаються по нижній полиці двотаврової опорно-ходової балки. Вантажна платформа здатна піднімати, спускати або переміщувати вантажі в межах дозволеної вантажопідйомності і довжини рейкового шляху, на якому вона встановлена [3]. Залежно від наявності або відсутності механізму пересування вантажна платформа перевантажувача може бути стаціонарною або пересувною. Актуальними напрямками застосування подібної техніки є обробка сипучих вантажів та енергозбереження [4-5].

Метою роботи є огляд конструктивних особливостей кранових вантажопідйомних механізмів невеликої вантажопідйомності, які застосовують електропривод та вибір певних типів механізмів для їх подальшої розробки та реалізації.

Кранами називають вантажопідйомні машини періодичної дії, за допомогою яких піднімають вертикально і переміщують горизонтально штучні, затарені і сипучі вантажі, утримувані вантажо-затискним органом [6].

Залежно від конструкції вирізняють вантажопідйомні мостові, козлові крани, крани-штабелери, автомобільні крани тощо. У підприємствах оптової торгівлі, а також на товарних дворах при станціях залізниць використовують вантажопідйомні мостові і козлові крани, крани-штабелери, автомобільні крани. Мостові крани дістали таку назву від основного несучого органу, так званого мосту, перекинутого через складські приміщення від однієї стіни до іншої.

На мосту крана встановлено кілька механізмів: піднімання вантажу; пересування крана; пересування вантажного візка. Міст пересувається по підкрановому шляху на сталевих колесах, які приводяться в дію електродвигуном. Вантажний візок крана піднімає і пересуває вантаж упоперек складу, а міст пересувається вздовж складу.

Краном керують з підвішеної до мосту кабіни або за допомогою кнопкової станції, розміщеної всередині складу на підлозі. Мостові крани застосовують переважно в закритих складських приміщеннях і під навісами. Порівняно з іншими вантажопідйомними машинами такі крани дають змогу повніше використовувати складські площі, переміщувати вантажі по всій площі складу, укладати їх високими штабелями.

Вантажопідйомним механізмом на кранах невеликої вантажопідйомності можуть слугувати електроталі встановлені на вантажному візку, що пересувається по фермі крана [7]. Для збільшення робочої зони крани

можуть мати консолі, що виходять за межі опор. Крани оснащують універсальним набором вантажозатискних пристосувань.

В загальному розумінні, електроталь – це вантажопідіймальна машина, яка складається з лебідки і барабана, змонтованих в одному корпусі, а також вантажозахватного пристрою. Кінцевий вимикач призначається для вимикання електродвигуна лебідки при досягненні вантажозахватним пристроєм крайнього верхнього положення.

За виконанням електроталі розрізняються на два види: пересувні з поздовжнім розташуванням підйомного механізму щодо шляху і з розташуванням гака під барабаном; стаціонарні підвісні з розташуванням гака під барабаном. Зазначені виконання розрізняються залежно від висоти підйому вантажу.

Основним (базовим) виконанням є електроталь з висотою підйому 6 м. Інші виконання талів є модифікаціями електроталі. Конструкція основних вузлів всіх виконань електроталей однакова.

Пересувна електроталь являє собою підйомно-транспортний механізм загального застосування, призначений для вертикального підйому, а також для спускання і горизонтального переміщення вантажу, підвішеного на гак талі. Горизонтальне переміщення вантажу здійснюється тільки уздовж підвісного однорельсового шляху, по якому рухається таль. Стаціонарна підвісна електроталь призначена тільки для підйому і спуску вантажу, підвішеного на гак талі.

Електроталі застосовуються для роботи в приміщеннях або під навісом при температурі навколишнього середовища від -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$ в атмосфері з середньою вологістю і запиленістю. При експлуатації необхідно враховувати ступінь запиленості місця, де застосовується таль, потрібно мати на увазі, що пил, особливо абразиви, прискорює знос механізмів, і тому при експлуатації в значно запилених місцях (наприклад, формувальних ділянках ливарних цехів, на вуглеподачах і т. п.) потрібен найбільш ретельний нагляд за станом механізмів талі [8].

Електроталь не допускається застосовувати для підйому і транспортування розпеченого і рідкого металу, рідкого шлаку, кислот, лугів при зменшенні вантажопідйомності і дотриманні вимог технічного нагляду вкладених в «Правилах пристроїв і безпечної експлуатації вантажопідіймальних машин».

Оскільки електроталь відноситься до категорії підйомно-транспортних машин загального призначення, її застосування забороняється: у вибухонебезпечних і пожежонебезпечних середовищах; в приміщеннях, насичених парами кислот, лугів і інших речовин в концентраціях, що шкідливо впливають на метал і ізоляцію електропроводки або створюють недостатньо надійні умови заземлення талі.

Тельфером називається електроталь, об'єднаний з монорейковим візком, який пересувається під стелею будівлі по монорейці. Керування тельферами здійснюється за допомогою магнітних пускачів, що приводяться в дію кнопковою станцією, підвішеною на гнучкому кабелі на висоті 1,2 м від підлоги. Найпоширеніші тельфери вантажопідйомністю 0,25–5 т і висотою піднімання до 6 м. Швидкість піднімання вантажу становить 8–10 м/хв., швидкість пересування – 20 м/хв.

Електродвигун підіймального механізму П-подібного перевантажувача може бути вмонтований у нарізний барабан (для більшої компактності). Цей механізм також повинен мати два гальмівних пристрої – один дисковий вантажоупорний, другий – колодковий з електромагнітом і бути облаштований обмежувачем висоти підняття гака.

Електродвигун у вбудованому виконанні розташовується в середині канатного барабану. Вал двигуна сполучений через муфту з швидкохідним валом редуктора, який складається з шестерень, коліс та валів. В цьому випадку, коли колодкові гальма розташовані в середині корпусу редуктора, на протилежному кінці механізму підйому закріплюють, як противагу, щит електрообладнання.

Живлення електроенергією електропривода П-подібного перевантажувача здійснюється від мережі змінного струму напругою 380 В за допомогою гнучкого кабелю, безпосередньо приєднується до вантажної платформи, або від жорстких тролей через струмозмінчак ковзного типу, який закріплюється на приводному візку [9].

Для класичного керування достатнім є застосування магнітний реверсивних пускачів без теплового захисту з механічним і електричним блокуванням [10]. Керування електричним гальмуванням здійснюється вручну з підлоги через підвісний кнопковий пульт керування.

Схемою включення контактів кнопок пульта керування має бути передбачено електричне блокування, що виключає можливість короткого замикання в пусках при одночасному натисканні кнопок, призначених для включення протилежних рухів одного і того ж механізму. Однак це не виключає можливості одночасного включення різних механізмів, тобто поєднання пересування вантажу його одночасним підйомом або спуском. Для захисту схеми керування від струмів короткого замикання необхідно залучати плавкі запобіжники.

Висновки. В рамках виконання кваліфікаційної роботи запропоновано розробити електропривод П-подібного перевантажувача вантажопідйомністю 0,8 т. Основне призначення розробки – автоматизація процесу обробки вантажів, яка забезпечить ефективний та безпечний підйом, спуск, переміщення вантажів в межах дозволеної вантажопідйомності та довжини рейкового шляху перевантажувача. Разом з тим, у подальшій роботі за наведеною темою, заплановано:

1. Розробку та розрахунок силових та енергетичних параметрів механізму підйому/спуску вантажів вагою до 0,8 т.
2. Вибір складових елементів електрообладнання електропривода П-подібного перевантажувача.
3. Розробку 3D моделі його конструкції з детальним описом прийнятих технічних рішень.

Список використаних джерел

1. Жигулін О.А., Махмудов І.І., Жигуліна Н.О. Підйомно-транспортні машини: Навчальний посібник. Ніжин, 2020. 150 с.
2. Бондарєв В.С., Дубинець О.І., Колісник М.П., Бондарєв С.В., Горбатенко Ю.П., Барабанов В.Я. Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підйомальних і транспортувальних машин: підручник. – К.: 2009. – 734 с.
3. Павленко Т.П., Донець О.В., Петренко О.М. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій. Харків. ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. 2018. 132 с.
4. Кучер А.Т., Кучер В.А. Обґрунтування напрямів технічного переозброєння вугледобувних шахт Донбасу на основі аналізу їх виробничих можливостей. *Соціально-економічні проблеми Донбасу*. 2011. с. 4-9.
5. Мухін, Б.Д. Міленін, Д.М. Енергозбереження в електроприводі. *Автоматизовані електромеханічні системи*. – Харків: 2020. – С. 96.
6. Лавріненко Ю.М., Савченко П.І., Синявський О.Ю., Войтюк Д.Г., Голодний І.М. Основи електропривода: учбовий посібник. Київ: Ліра-К, 2017. 524 с.
7. Правила улаштування електроустановок [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72758 (дата звернення: 10.03.2023).
8. Правила пожежної безпеки в Україні [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: https://dnaop.com/html/31612/doc-%D0%9D%D0%90%D0%9F%D0%91_%D0%90.01.001-2004 (дата звернення: 17.03.2023).
9. Грибан В.Г., Негодченко О.В. Охорона праці: навч. посібник. Київ, 2009. 280 с.
10. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: учбовий посібник. Київ, 2005. 680 с.

УДК 681.5

Білюк І.С., к.т.н., доцент, Савченко О.В., Без'язика А.О.

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

БЛОК ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

Одним з важливих елементів систем автоматики є блок живлення, призначений для забезпечення устаткування електричною енергією з заданими параметрами. Основними задачами блоку живлення є: забезпечення передачі потужності, стабілізація параметрів електричної енергії та захист систем автоматики.

Метою роботи є розробка блоку живлення для систем автоматики потужністю 150 Вт із стабілізацією напруги на виході, з захистом від перевантаження та перенапруги. Проектування пристрою складається з наступних етапів:

- Побудова функціональної схеми блоку живлення;
- Розробка принципової схеми блоку живлення;
- Розрахунок силового трансформатора;
- Дослідження динаміки отриманого блоку живлення.

Функціональна схема блоку живлення показана на рисунку 1.

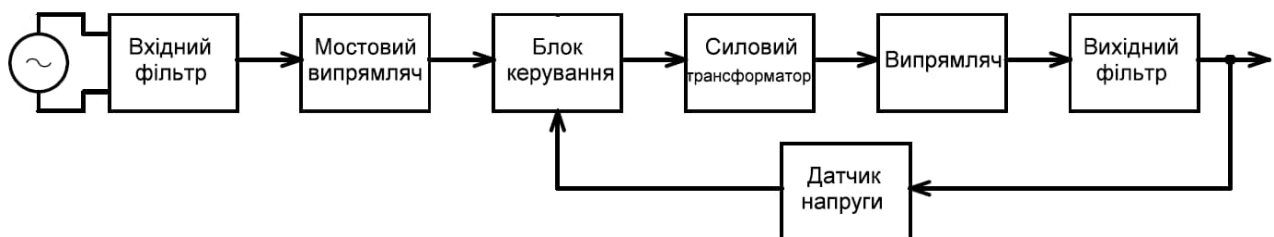


Рисунок 1 – Функціональна схема блоку живлення.

Серед багатьох існуючих схем імпульсних блоків живлення, найбільш розповсюдженим є зворотногоходові блоки живлення. Для вирішення поставленої задачі було використано мікросхему *TOP260EN* [1, 2, 3], що дозволило використати зворотногоходову топологію блоку живлення. Данна мікросхема має наступні переваги:

- Багаторежимна робота, що максимізує ефективність при будь-якому навантаженні;
- Низький термічний опір з'єднання з корпусом ($2^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$);
- Вихідний захист від перенапруги (OVP) програмується користувачем для фіксованого/неблокувального вимкнення з швидким скиданням змінного струму;
- Виявлення низької напруги в мережі (UF) запобігає збоєм вимикання;
- Відключення через перенапругу в лінії (OV) збільшує межу перенапруги в лінії;
- Точне програмоване обмеження струму;
- Частота 132 кГц (*254Y-258Y* та всі пакети *E/L*) зменшує розмір трансформатора та джерела живлення;
- Коливання частоти зменшує вартість фільтра *EMI*;
- Радіатор підключено до *SOURCE* для низького рівня електромагнітних перешкод;
- Покращений автоматичний перезапуск забезпечує <3% максимальної потужності умови короткого замикання та відкритого контуру;
- Функція точного автоматичного гістерезисного термовідключення відновлюється без необхідності скидання;
- Повністю інтегрований плавний пуск для мінімального стартового стресу.

Принципова схема блоку живлення наведена на рисунку 2.

Будь-яке імпульсне джерело живлення створює радіоперешкоди, і як результат, основною проблемою є забезпечення електромагнітної сумісності з іншим електронним обладнанням. Щоб запобігти цьому, було застосовано синфазний дросель, який зібрано на елементах *L1*, *C1* і *C2* (рисунок 2), він захищає джерело живлення та мережу від взаємних високочастотних та імпульсних вад. Клампер в ланці первинної обмотки зібрано на *R3*, *R5*, *C4*, *VD5*, *VD6*.

Електроживлення здійснюється через діодний міст, зібраний на діодах *VD1*, *VD2*, *VD3*, *VD4*. Діоди повинні мати зворотну напругу не менше 400 В. Крім того, діоди повинні витримувати імпульсний струм при включенні джерела живлення.

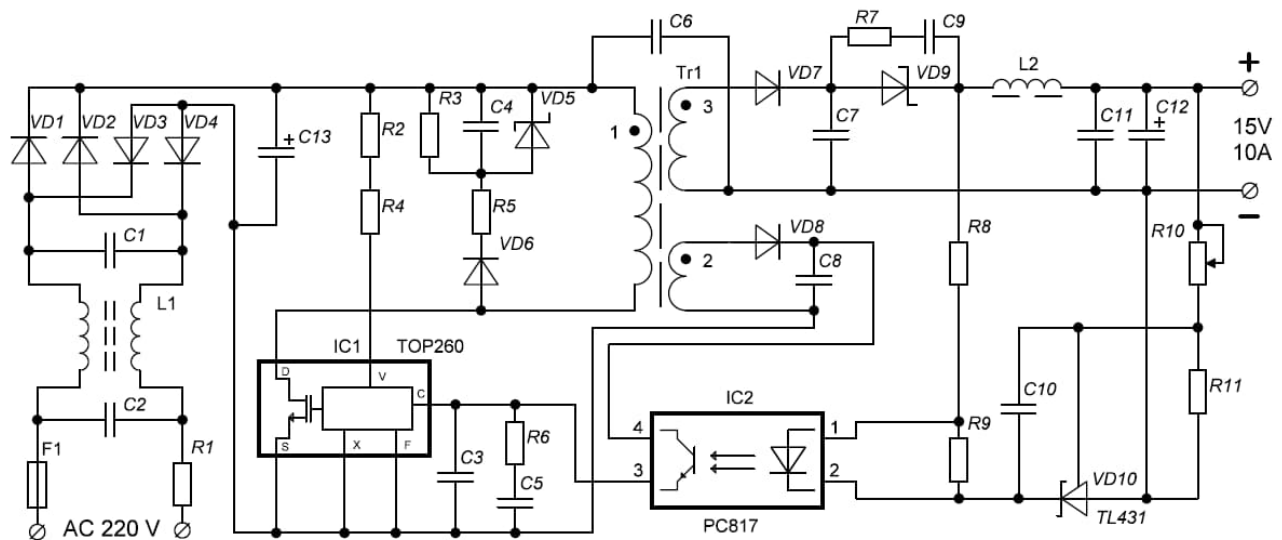


Рисунок 2 – Принципова схема блоку живлення

На відміну від інших топологій блоків живлення, де трансформатор використовується тільки для зниження або підвищення напруги, у зворотному перетворювачі трансформатор додатково служить дроселем - магнітним пристроєм зберігання енергії. Крім основних обмоток (первинної та вторинної), цей трансформатор має додаткові обмотки, критично важливі для роботи зі зворотним зв'язком. Відношення числа витків обмоток трансформатора виконує дві ролі: встановлює рівень вихідної напруги щодо вхідної та забезпечує гальванічну ізоляцію. При використанні додаткових обмоток зворотна ходова конструкція може одночасно підтримувати кілька виходів. Для силового трансформатора було обрано магнітопровід №87 Epcos [4]. Після розрахунку параметрів трансформатора [5, 6], було отримано дані, зведені у таблицю 1.

Таблиця 1 – Параметри силового трансформатора.

V_{in} , В	V_{out} , В	V_{VD} , В	I_{w3} , А	I_g , мм	P_{Fe} , Вт	K_u	F , кГц	L , мкГн	μ	N_1	N_2	N_3	S_c , мм ²	I_{AV} , мм	S_1 , мм ²	S_2 , мм ²	S_3 , мм ²
220	15	0.8	10	1.57	1.041	0.225	132	194.104	1870	41	3	4	107	90.8	0.6	0.3	0.8x9

Зворотні зв'язки побудовані за допомогою TL431 [7], що містить підсилювач похибки та внутрішнє джерело опорної напруги, та оптрон PC817 [8]. Напруга налаштовується резистором R10. Резистор R9 пропускає початковий струм аналога стабілітрона TL431, а R8 обмежує струм через світлодіод оптрона і, спільно з конденсатором C10, забезпечує стабільність ланцюга автоматичного регулювання.

На основі принципової схеми було зібрано блок живлення, а також проведено виміри вихідних характеристик за допомогою осцилографа, які відображено на рисунку 3. Виходячи з отриманих результатів, блок живлення повністю відповідає заданим вимогам.

Висновки: Відповідно до мети роботи було розроблено блок живлення систем автоматики з зворотногоходовою топологією потужністю 150 Вт. Для керування блоком живлення було використано мікросхему TOP260EN, яка має захист за струмом та напругою, а також розрахована на постійну частоту роботи 132 кГц. Побудована функціональна схема блоку живлення та розроблена принципова схема пристрою. Виготовлено експериментальний зразок блока живлення. Отримані вихідні характеристики пристрою підтвердили його працездатність.

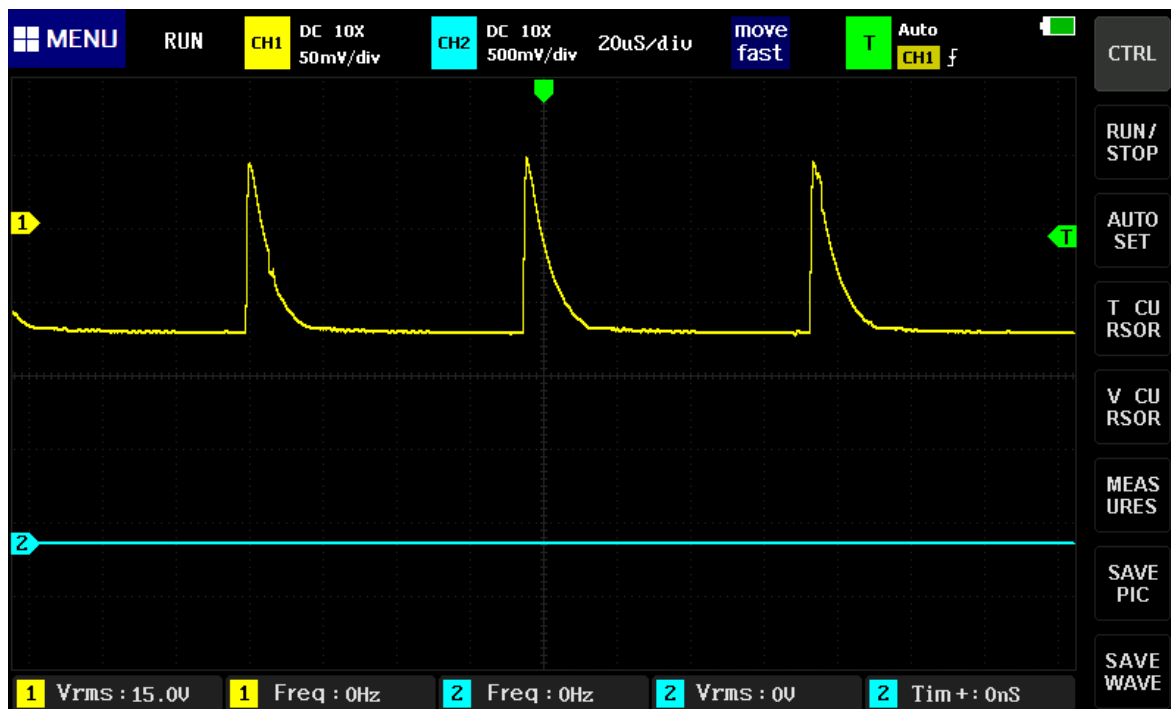


Рисунок 3 – Вихідні характеристики блоку живлення.

Список використаних джерел

1. TOP221-227. TOPSwitch-II Family. Three-terminal Off-line PWM Switch.// datasheet — режим доступу www.powerint.com.
2. TOPSwitch-II Flyback. Design Methodology. Application Note AN-16.// datasheet — режим доступу www.powerint.com
3. TOPSwitch-II Flyback. Quick Selection Curves. Application Note AN-21.// datasheet — режим доступу www.powerint.com
4. SIFERRIT material N87.// datasheet — режим доступу <https://www.tdk-electronics.tdk.com/download/528882/71e02c7b9384de1331b3f625ce4b2123/pdf-n87.pdf>
5. Обрусник В.П. Магнитные элементы электронных устройств: Учебное пособие. — Томск: ТМЦДО, 2012. —125 с.
6. How to design a flyback transformer.// — режим доступу https://how_to.fandom.com/wiki/How_to_design_a_flyback_transformer
7. TL431, TL432 Precision Programmable Reference./ datasheet/ — режим доступу https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl431.pdf?ts=1677786577106&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTL431
8. PC817XxNSZ1B Series contains AN IRED optically coupled to a phototransistor// datasheet — режим доступу https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/PC817XxNSZ1B_e.pdf

УДК 621.311.001.57

Дьяконов О.С., к.т.н., доцент, Малахова Н.Г., магістр

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

ПРОГРАМНО-АПАРATНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНОЮ УСТАНОВКОЮ

Підвищення якості керування промислових когенераційних установок при їхній автоматизації потребує перегляду традиційного підходу до процедури відлагодження систем керування шляхом використання імітаційних моделей об'єкту керування та модельно-орієнтовної методології розробки програмного забезпечення. Це дозволяє у відсутності реального об'єкту керування імітувати сигнали у заданих діапазонах в правильній послідовності у відповідності до алгоритму функціонування об'єкту керування.

Метою роботи є побудова імітаційної моделі електричної частини когенераційної установки та її програмна реалізація на мові програмування МЕК 61131-3.

Опис об'єкту автоматизації. На рис. 1 представлено принципову схему когенераційної установки. До складу установки входить газопоршневий агрегат ДВГА-630 із синхронним генератором потужністю 630 кВА та номінальною напругою 380 В. Когенераційна установка автоматизована за 1-м ступенем автоматизації, при якому виконуються наступні функції:

- автоматичне регулювання частоти обертання (використовується регулятор Helenos фірми Heinzmann);
- автоматичне регулювання температури в системах охолодження та мащення (регулятори системи охолодження PCO № 1, PCO № 2);
- автоматичне регулювання напруги генератора;
- автоматична підтримка заданої активної та реактивної потужності при роботі на мережу нескінченної потужності;
- автоматична попереджувальна та аварійна сигналізація та захист (аварійна зупинка) щодо тиску оливи та охолоджувальної води, за температурою оливи та охолоджуючої води;
- керування передпусковим прокачуванням оливи, пуском, зупинкою;
- підзарядка акумуляторної батареї.

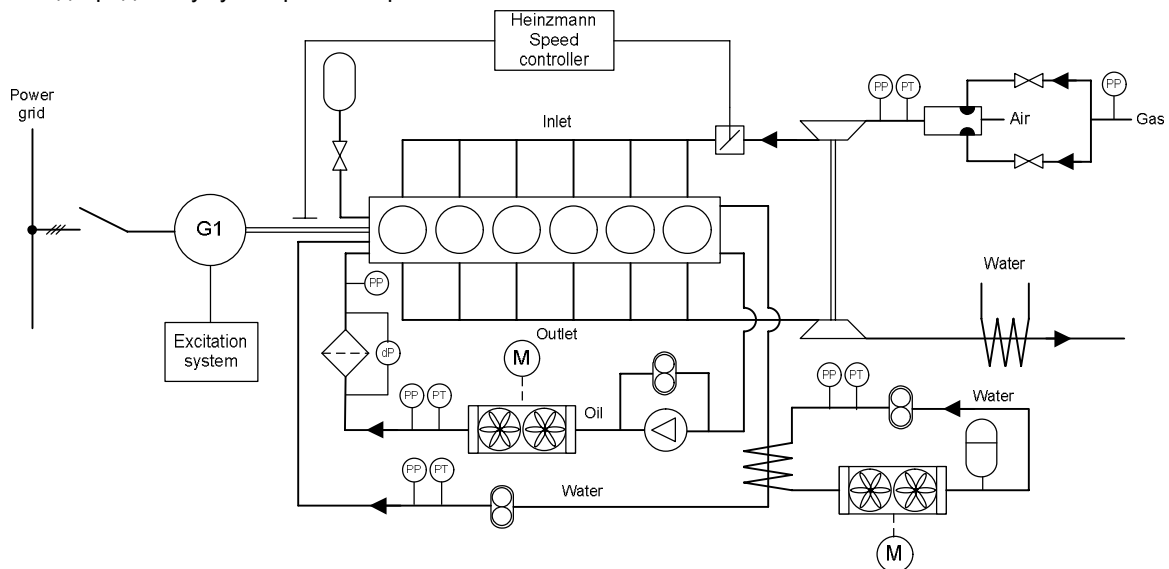


Рисунок 1– Принципова схема когенераційної установки

Силовий щит та щит управління когенераційною установкою виконані у вигляді єдиного конструктиву. Щит управління містить регулятор швидкості Helenos фірми Heinzmann, а також сенсорний панельний контролер СПК110-М2 фірми ОВЕН. До контролера за інтерфейсом RS-485 підключені аналогові та дискретні модулі вводу/виводу, а також аналізатор параметрів електричної мережі ME110-220.3М. До контролера за допомогою мережевого інтерфейсу Ethernet підключається ПК оператора для віддаленого моніторингу та управління когенераційною установкою. Органи управління, прилади контролю та індикації на щиті управління представлені на рис. 2.

Імітаційна модель в структурі програми програмованого логічного контролера (ПЛК). Для завдань налагодження найбільш практичним способом імітаційного моделювання є використання програмних ресурсів контролера, в якому реалізовані алгоритми, що перевіряються. Такий підхід не новий, і використовується багатьма розробниками прикладного ПЗ для ПЛК і SCADA/HMI [2]. Розглянемо практичні рекомендації по створенню і використанню таких імітаційних моделей з використанням мов програмування МЕК 61131-3.

Імітаційна модель в даному контексті є частиною виконавчого проекту ПЛК. Тобто, це частина програми ПЛК (включаючи всі додаткові змінні), що імітує роботу об'єкта. Модель може бути виконана як програмна секція, функція або функціональний блок, написані на тих же мовах МЕК 61131-3, що і основна програма управління (далі по тексту ця частина буде називатися програмою імітації). Таким чином, виконавчий проект ПЛК під час налагодження буде складатися з двох типів програмних елементів: програм управління та програм імітації.

Слід зазначити, що створення імітаційної моделі має сенс тільки для об'єктів середньої і великої алгоритмічної складності. ПЛК, а також середовища розробки для них, використовувані в такого рівня системах управління, можна охарактеризувати наступними показниками:

- наявність деякої ресурсної надмірності щодо вирішуваних завдань (наприклад, обсяг пам'яті, максимальне число програмних елементів, таймерів і т. п.);
- поділ програм на частини (POU (Program Organization Unit), секції, функції, функціональні блоки);
- крім адресного звернення до змінних є можливість символічної адресації;
- наявність імітатора виконавчої системи ПЛК в середовищі розробки;
- наявність розвинених засобів пошуку перехресних посилань в середовищі розробки;
- наявність елементів об'єктно-орієнтованого програмування та/або можливості створення користувацьких функцій і типів функціональних блоків.

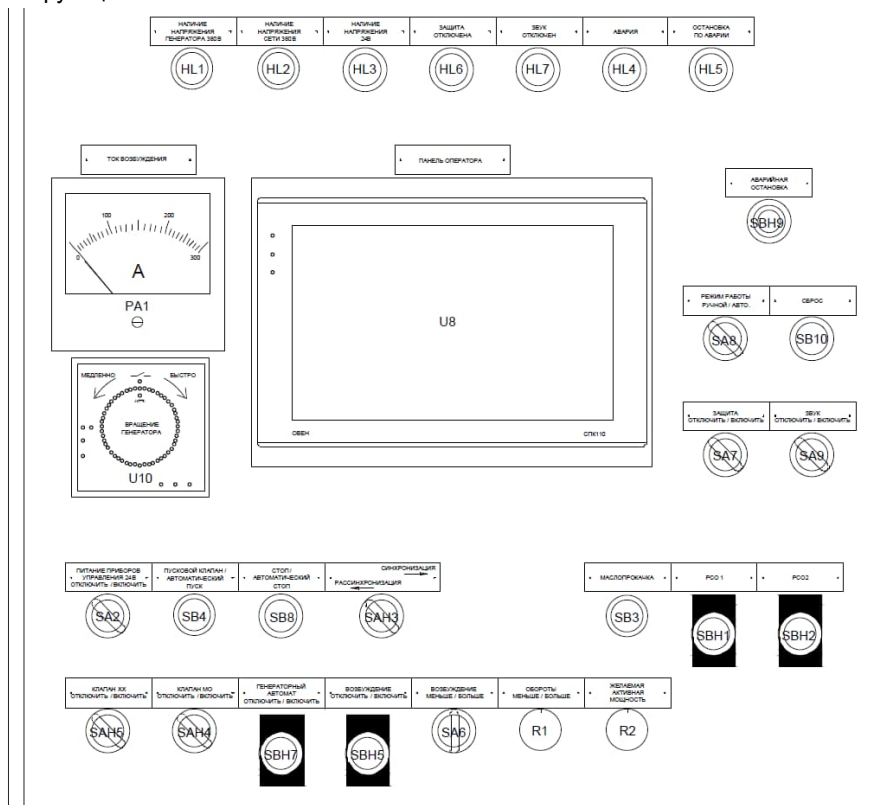


Рисунок 2 – Органи управління, прилади контролю та індикації

У роботі [3] вказані деякі складності, що виникають при вбудовуванні програм імітації в структуру програми управління. З огляду на наведені вище показники ПЛК і середовищ розробки, ці проблеми можуть бути вирішені, за допомогою ряду прийомів і рекомендацій:

- програма імітації не повинна бути частиною програми управління, а виділена в окремий структурний елемент (секція, функція, функціональний блок);
- змінні, константи і інші об'єкти мови ПЛК (таймери, лічильники, екземпляри функціональних блоків), створені виключно для імітації, потрібно ідентифікувати і організувати таким чином, щоб їх можна було швидко знайти і при необхідності видалити (наприклад, використовувати специфічні префікси в іменах змінних);
- програма імітації повинна викликатися в контексті того ж завдання, що і програма управління;
- програма імітації повинна виконуватися в завданні перед викликом програми управління;
- слід враховувати час виконання програм-ми імітації, тобто тривалість виконання задачі (Task) ПЛК буде більшою, ніж без програми імітації;
- рекомендується створювати спочатку програму імітації об'єкта, а потім програму управління;
- рекомендується використовувати графічні засоби налагодження або ресурси SCADA / HMI.

Впровадження програми імітації в структуру проекту може проводитися різним способом, в залежності від особливостей платформи і зручності розробника. Можливе впровадження секції імітації на самому початку циклічної задачі, тоді з'являється можливість програмної імітації вхідних змінних. В інших випадках можна розмістити секцію імітації безпосередньо перед програмою управління. Перед пуско-налагоджувальними роботами на об'єкті секція імітації видаляється або відключається.

Моделювання змінних стану об'єкта. Для динамічного моделювання змінних станів технологічного об'єкта пропонується використовувати системи диференціальних рівнянь. При цьому, чисельне рішення системи звичайних диференціальних рівнянь можна отримати, використовуючи кінцеві різницеві схеми, наприклад, явний метод Ейлера [4]:

$$y_{n+1} = y_n + \Delta t \cdot f(t_n, y_n), \tag{1}$$

де y_{n+1} , y_n – змінні станів об'єкту управління на поточному і попередньому кроці; Δt – час кроку моделювання; $f()$ – вектор-функція процесу; t_n – час на поточному кроці моделювання.

Явний метод Ейлера має суттєві недоліки, зокрема, малу точність і систематичне накопичення помилок. Однак вони компенсуються невеликим часом розрахунку і невисокими вимогами до точності імітаційної моделі. Особливістю реалізації наведених формул в ПЛК є збіг циклів перерахунку з викликом задачі, тобто відсутні ітераційні розрахунки на кожному циклі, що було б неможливо при неявних методах.

Опис імітаційної моделі. Загальну схему імітаційної моделі когенераційної установки в її електричній частині наведено на рис. 3.

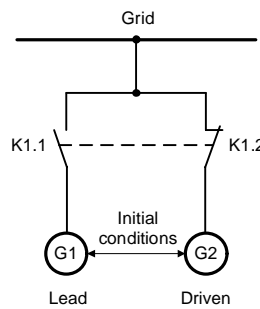


Рисунок 3 – Загальна схема імітаційної моделі

При імітації роботи двигун-генератора в автономному режимі використовується математична модель [5] СГ1 згідно з (2):

$$\begin{cases} i_{f1} = \left[h_{f1} - \frac{x_{ad1}}{x_{f1}} \psi_{D1} + \left(\frac{x_{ad1}^2}{x_{f1}} - \frac{x_{ad1}^2}{x_{f1} x_{rd1}} \right) i_{d1} \right] : \left(\frac{1 - x_{ad1}^2}{x_{f1} x_{rd1}} \right); \\ i_{D1} = \psi_{D1} + \frac{x_{ad1}^2}{x_{rd1}} i_{d1} - \frac{x_{ad1}}{x_{rd1}} i_{f1} \\ i_{Q1} = \psi_{Q1} - \frac{x_{aq1}^2}{x_{rd1}} i_{q1}; \\ \psi_{d1} = -x_{d1} i_{d1} + i_{f1} + i_{D1}; \\ \psi_{q1} = x_{q1} i_{q1} + i_{Q1}; \\ u_{d1} = (1 + s_1) \psi_{q1} - r_1 i_{d1}; \\ u_{q1} = (1 + s_1) \psi_{d1} - r_1 i_{q1}; \\ m_{E1} = \psi_{d1} i_{q1} + \psi_{q1} i_{d1}; \\ p \psi_{f1} = \frac{1}{T_{d01}} (u_{f1} - i_{f1}); \\ p \psi_{D1} = -\frac{1}{T_{D1}} i_{D1}; \\ p \psi_{Q1} = -\frac{1}{T_{Q1}} i_{Q1}; \\ p s_1 = -\frac{1}{T_{J1}} (m_{e1} - m_{E1}), \end{cases} \tag{2}$$

де $h_{f1} = f(\psi_{f1})$ – функція, що відповідає кривій насичення сталі машини, x_d , x_q – синхронні реактивності статора по поздовжній та поперечній осях; x_{ad} , x_{aq} – реактивності самоіндукції статора по поздовжній та поперечній осям; x_{rd} , x_{rq} – повні реактивності демпферних обмоток по поздовжній та поперечній осях; r – активний опір обмотки статора; u_d , u_q – напруга генератора по поздовжній та поперечній осях; i_d , i_q – струм генератора по поздовжній та поперечній осях; ψ_d , ψ_q – потокозчеплення обмоток статора по поздовжній та поперечній осях; ψ_D , ψ_Q – потокозчеплення демпферних обмоток; ψ_f – потокозчеплення обмотки збудження; i_D , i_Q – миттєві

значення струмів демпферних обмоток; u_f - напруга, прикладена до обмотці збудження; i_f - струм збудження; T_J – постійна інерційна агрегату; $T_{\sigma 0}$, T_D , T_Q – постійні часу ланцюга збудження та демпферних обмоток по поздовжній та поперечній осях; m_E – електромагнітний момент машини; m_e - момент первинного двигуна, p – оператор диференціювання.

Відхилення напруги генератора від еталонної (номінальної) та сигналу від пристрою розподілу реактивної потужності між паралельно працюючими СГ:

$$\Delta u_y = (u - u_0) + \Delta u_p \quad (3)$$

де $\Delta u_p = k_e(i_{p1} - i_{p2})$; i_{p1} , i_{p2} – реактивні сили струму першого та другого генераторів відповідно; k_e – коефіцієнт посилення в ланцюзі вирівнювання реактивних навантажень.

Коригуючий пристрій є інерційною ланкою, передаточна функція якого може бути представлена в наступному вигляді:

$$\frac{i_y}{\Delta u_y} = \frac{k_k}{T_k p + 1} \quad (4)$$

де i_y – сила струму в обмотці коригуючого пристрою; k_k , T_k – коефіцієнт посилення та постійна часу обмотки магнітного підсилювача коригуючого пристрою відповідно.

З урахуванням вихідної характеристики коректора напруги:

$$\begin{aligned} T_k p i_y &= -i_y + k_k [(u - u_0) + k_e \Delta i_p] \\ \text{при } i_y < 0, i_y &= 0; \\ \text{при } i_y > i_{y \max}, i_y &= i_{y \max}. \end{aligned} \quad (5)$$

Досвід моделювання показує, що при якісному (імітаційному) моделюванні допустимо безвідносно до типу первинного двигуна користуватися спрощеною моделлю автоматичного регулятора частоти обертання і моменту первинного двигуна наступного виду [8]:

$$\begin{cases} T_p p \mu_p = -k_p s - \mu_p + k_{\Pi} \mu_H; \\ m_e = \mu_p; \end{cases} \quad (6)$$

де μ_p – відносне відхилення координати положення муфти регулятора, пов'язаної із рейкою паливного насоса, T_p – постійна часу регулятора, s – відносне відхилення частоти обертання (ковзання); μ_H – координата зміни уставки за частотою обертання; m_e – обертаючий механічний момент.

Коефіцієнти k_p і k_{Π} в рівняннях (6) розраховуються за статичною швидкісною характеристики первинного двигуна для двох крайніх точок $\mu_p = 0$ і $\mu_p = 1$.

При роботі на мережу використовується математична модель СГ2 згідно (7) з АРЧ за тими ж рівняннями, що і для СГ1 (3)-(5).

$$\left\{ \begin{aligned} i_{di} &= \left[- \left(1 - \frac{x_{adi}^2}{x_{fi} x_{rdi}} \right) \psi_{di} + \left(1 - \frac{x_{adi}}{x_{rdi}} \right) h_{fi} + \left(1 - \frac{x_{adi}}{x_{fi}} \right) \psi_{Di} \right] : d d_i; \\ i_{fi} &= \left[h_{fi} - \frac{x_{adi}}{x_{fi}} \psi_{Di} + \left(\frac{x_{adi}^2}{x_{fi}} - \frac{x_{adi}^2}{x_{fi} x_{rdi}} \right) i_{di} \right] : \left(\frac{1 - x_{adi}^2}{x_{fi} x_{rdi}} \right); \\ i_{Di} &= \psi_{Di} + \frac{x_{aqi}^2}{x_{rdi}} i_{di} - \frac{x_{adi}}{x_{rdi}} i_{fi}; \\ i_{qi} &= (\psi_{qi} - \psi_{Qi}) : \left(x_{qi} - \frac{x_{aqi}^2}{x_{rdi}} \right); \\ i_{Qi} &= \psi_{Qi} - \frac{x_{aqi}^2}{x_{rqi}} i_{qi}; \\ m_{Ei} &= \psi_{di} i_{qi} + \psi_{qi} i_{di}; \\ p \psi_{di} &= u_{di} - (1 + s_i) \psi_{qi} + r_i i_{di}; \\ p \psi_{qi} &= -u_{qi} - (1 + s_i) \psi_{di} - r_i i_{qi}; \\ p \psi_{fi} &= \frac{1}{T_{d0i}} (u_{fi} - i_{fi} h); \\ p \psi_{Di} &= -\frac{1}{T_{Di}} i_{Di}; \\ p \psi_{Qi} &= -\frac{1}{T_{Qi}} i_{Qi}; \\ p s_i &= -\frac{1}{T_{Ji}} (m_{Ei} - m_{Ei}), \end{aligned} \right. \quad (7)$$

де $dd_i = x_{si} + x_{adi} \left(1 - \frac{x_{adi}}{x_{fi}} \right) - \frac{x_{adi}^2}{x_{rdi}} \left(1 - \frac{x_{adi} - x_{si}}{x_{fi}} \right)$; $h_{fi} = f(\psi_{fi})$ – функція, що відповідає кривій насичення сталі машини.

Модель СГ2 додатково містить рівняння перетворення координат j -го ведомого генератора к осям СГ1 (чи мережі) відповідно до рівнянь (8) та (9):

$$\begin{cases} i'_{dj} = i_{dj} \cos \theta_{1j} + i_{qj} \sin \theta_{1j} \\ i'_{qj} = i_{qj} \cos \theta_{1j} - i_{dj} \sin \theta_{1j} \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} u'_{dj} = u_{dj} \cos \theta_{1j} + u_{qj} \sin \theta_{1j}; \\ u'_{qj} = u_{qj} \cos \theta_{1j} - u_{dj} \sin \theta_{1j}; \\ u_{dj} = u'_{d1}; u_{qj} = u'_{q1}, \end{cases} \quad (9)$$

де кут між координатними осями СГ1 чи мережі нескінченної потужності та СГ2 розраховується за рівнянням:

$$\theta_{1j} = \int_0^t (s_1 - s_j) dt \quad (10)$$

Перемикання між моделями відбувається при спрацюванні генераторного автомата, при цьому поточні змінні стану СГ1 копіюються у відповідні змінні стану СГ2.

Для моделювання АРН СГ2 використовуються рівняння:

$$\begin{aligned} T_k p u_f &= -u_f + k_e \Delta i_p; \\ \text{при } u_f < 0, \quad u_f &= 0; \\ \text{при } u_f > 2, \quad u_f &= 2. \end{aligned} \quad (11)$$

На рис. 4 наведено схему інтеграції імітаційної моделі з системою керування. Підключення системи керування до імітаційної моделі здійснюється за допомогою мультиплексорів аналогових та дискретних сигналів.

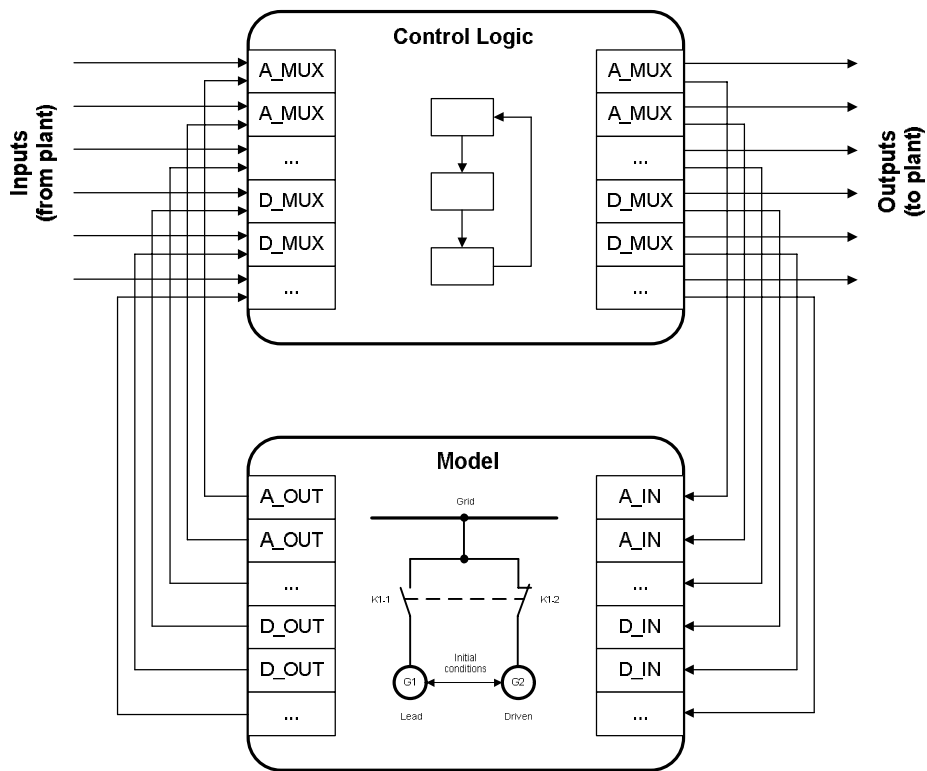


Рисунок 4 – Підключення імітаційної моделі до логіки управління

Висновки. Перед створенням програми імітації слід оцінити час на її розробку і верифікацію, і співвіднести загальний час, витрачений на тестування з моделлю і без неї. Для типових проектів наявність моделі виправдано, так як її адаптація до конкретного об'єкту не займає багато часу. Як вагомні аргументи на користь розробки імітаційної моделі є зменшення ризиків виробничих витрат а також скорочення часу на етапі пусконаладжувальних робіт. Також є сенс розробки моделі для верифікації проектів SCADA / HMI на різних етапах їх життєвого циклу.

При розробці математичних моделей синхронних генераторів, автоматичних регуляторів напруги та первинних двигунів з автоматичними регуляторами швидкості показано, що деякі спрощення істотно не вплива-

ють на моделювання процесів, але дозволяють значно скоротити час моделювання при реалізації імітаційної моделі когенераційної установки.

Імітаційна модель реалізована на мові ST та побудована у вигляді окремих програмних блоків POU. Запропоновано механізм інтеграції імітаційної моделі у проект системи керування за допомогою спеціально розроблених блоків мультиплексорів аналогових та дискретних сигналів.

Що стосується подальшого розвитку даної роботи, то можна запропонувати розробку людино-машинного інтерфейсу, що імітує органи управління, прилади контролю та індикації щита керування. Впровадження такого інтерфейсу дозволить створити повноцінний тренажер.

Список використаних джерел

1. Диллабер Э., Кендрик Л., Джин В., Редди В. Практические стратегии для перехода на модельно-ориентированное проектирование встроенных приложений // КОМПОНЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ. 2011. № 10. С. 172 - 180.
2. Луцкая, Н. Н. Создание имитационных моделей технологических процессов для отладки программ ПЛК и проектов SCADA/HMI / Н. Н. Луцкая, А. Н. Пупена, С. Н. Швед // Автоматизация в промышленности. - 2013. - № 7. – С. 50-54.
3. Зюбин В.Е. Итерационная разработка управляющих алгоритмов на основе имитационного моделирования объектов управления // Автоматизация в промышленности. 2010. № 11.
4. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов / Уч. пособие для вузов. М.: ИКЦ «Академкнига». 2006.
5. Баранов А. П. Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации / А.П.Баранов, М.М.Раимов. СПб: Элмор, 1997. 232 с.
6. Веретенников Л.П. Исследование процессов в судовых электроэнергетических системах, теория и методы. Л.: Судостроение, 1975, 375 с.
7. Веретенников Л.П. Переходные процессы в электроэнергетических системах кораблей. Л.: Изд. ВМА, 1982, 627 с.
8. Токарев Л.М. Математическое описание, расчет и моделирование физических процессов судовых электростанций. Л.: Судостроение, 1980, 119 с.

УДК 629.5

Грудініна Г.С.

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

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ АВТОНОМНОГО НЕНАСЕЛЕННОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТУ ЗІ СТАБІЛІЗАЦІЄЮ УПОРУ РУШІЙНОГО ПРИСТРОЮ

Анотація. Розроблено систему автоматичного керування швидкістю руху підводного апарату, що складається з двох регуляторів: оптимального регулятора швидкості руху АНПА та регулятора стабілізації упору рушійно-кермового пристрою при роботі у косому потоці води. Оптимальний регулятор працює за критерієм мінімізації тривалості перехідного процесу при зміні швидкості руху підводного апарату. Регулятор стабілізації упору корегує значення сигналу керування в залежності від умов функціонування рушійного пристрою.

Розроблена САК дозволяє максимально швидко змінювати швидкість руху АНПА і підтримувати її на заданому рівні.

Ключові слова: математичне моделювання, автономний ненаселений підводний апарат, рушійно-кермовий пристрій, система автоматичного керування, стабілізація швидкості.

Мета та актуальність роботи. Метою роботи є удосконалення оптимальної за швидкодією системи стабілізації швидкості руху автономного ненаселеного підводного апарату шляхом урахування уточненого значення упору рушійного пристрою, що працює у косому потоці води.

Завдання стабілізації швидкості руху автономного ненаселеного підводного апарату (АНПА) є важливим і актуальним питанням при розробці систем автоматичного керування (САК), призначених для виконання складних багатоступеневих місій морегосподарської діяльності. Перспективним напрямом в розробці сучасних систем керування є застосування засобів інтелектуального керування та сучасних навігаційних систем.

Система автоматичного керування швидкістю АНПА з уточненим значенням упору РКП. На базі математичних моделей АНПА та РКП [1-3] розроблено структурну схему системи автоматичного керування швидкістю АНПА з уточненим значенням упору РКП [4]. Структурна схема системи керування представлена на рис. 1. Розроблену САК реалізовано в системі Simulink.

Розроблена модель складається з чотирьох основних блоків: завдання швидкості та кута повороту насадки; системи керування, що складається з оптимального регулятора швидкості та регулятора стабілізації упору при криволінійному русі; математичної моделі АНПА; математичної моделі РКП.

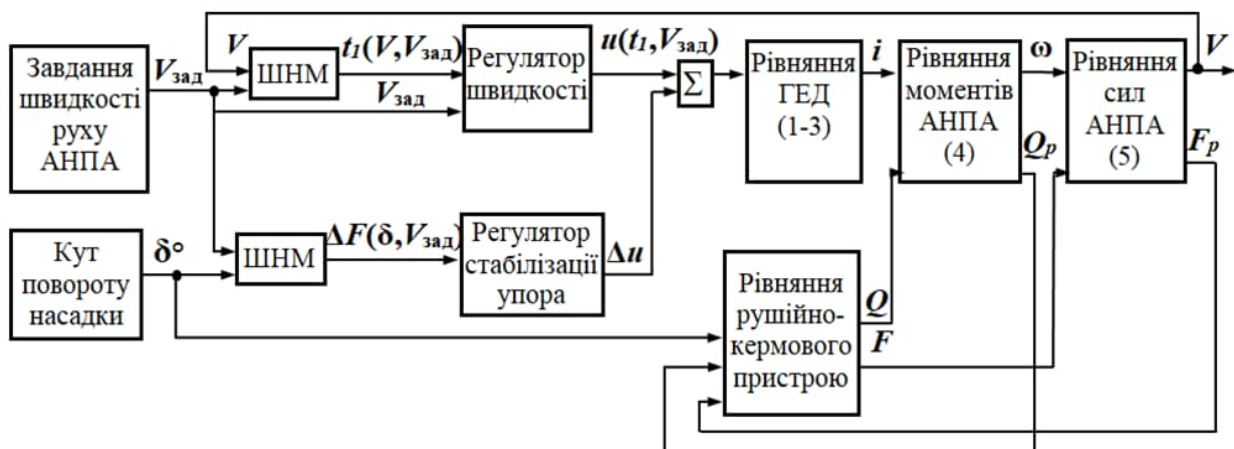


Рисунок 1 – Структурна схема САК швидкістю АНПА зі стабілізацією упору РКП

Регулятори швидкості та стабілізації упору РКП реалізовано на базі ШНМ. Для навчання нейронної мережі регулятора швидкості використано функціональну залежність часу перемикання сигналу від початкової та кінцевої швидкості, яку отримано шляхом математичного моделювання. Для навчання нейронної мережі регулятора стабілізації упору РКП використано базу даних, отриману шляхом моделювання роботи АНПА при плоскому криволінійному русі засобами CFD моделювання та Simulink моделі [5].

Представлена САК працює наступним чином. Спочатку регулятор швидкості максимально швидко розганяє апарат до заданої оператором швидкості та підтримує її. Коли надходить сигнал про поворот насадки, регулятор стабілізації упору обчислює значення корекції керуючого впливу.

Шляхом імітаційного моделювання плоского криволінійного руху АНПА з гребним гвинтом в поворотній насадці у якості рушії, проведено дослідження працездатності розробленої САК. На вхід системи керування надходять дані про задану та поточну швидкість руху апарата, а також, про заданий та поточний кут перекидки насадки. Регулятор швидкості максимально швидко розганяє апарат до заданої оператором швидкості

та підтримує її. Коли надходить сигнал про зміну кута перекладки насадки регулятор стабілізації упору обчислює значення корекції керуючого впливу, рис. 2.

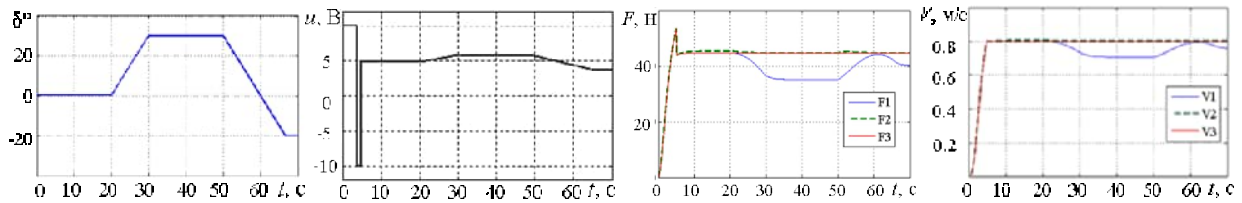


Рисунок 2 – Результат моделювання роботи оптимального регулятора швидкості з стабілізацією упору РКП: а – кут перекладки насадки; б – сигнал керування; в – упор РКП; г – швидкість руху АНПА

Спочатку підводний апарат починає розгін від нульової швидкості до 0.8 м/с (рис. 2, г до 20-ї с). Регулятор швидкості формує керуючий вплив, який забезпечує досягнення заданої швидкості максимально швидко (рис. 2, б до 20-ї с). При цьому маємо максимальне значення упору (рис. 2, в до 20-ї с). При повороті насадки на кут 30° (рис. 2, а після 20-ї с), упор зменшується і швидкість АНПА починає знижуватись (рис. 2, в, г після 20-ї с). Регулятор стабілізації упору обчислює значення, на яке необхідно збільшити керуючий вплив і компенсувати втрачений упор (рис. 2, б після 20-ї с). Далі, на ділянці з 30 по 50 секунду апарат рухається з постійною швидкістю. Починаючи з 50-ї секунди кут змінюється на протилежний відносно вісі ГГ, $\delta = -20^\circ$. При зменшенні кута регулятор автоматично перераховує значення сигналу керування (рис. 2, б). На графіках 2, в та г представлено порівняльний аналіз упору РКП та швидкості руху АНПА при роботі САК з регулятором стабілізації упору і без регулятора стабілізації:

- упор РКП (F1) та швидкість АНПА (V1) без регулятора упору;
- упор РКП (F2) та швидкість руху АНПА (V2) з регулятором упору;
- упор РКП (F3) та швидкість руху АНПА (V3) у співвісному потоці.

Як видно з графіків, розроблений регулятор ефективно компенсує втрату упору РКП при повороті насадки. Перевага розробленого регулятора полягає в тому, що системі не потрібно відпрацьовувати похибку, яка призведе до відхилення від траєкторії руху. Представлена САК працює на попередження можливого відхилення, регулятор миттєво корегує значення сигналу керування.

Висновки. Проведено дослідження розробленої системи автоматичного керування швидкістю руху АНПА з уточненим значенням упору рушійного пристрою під час перекладки насадки на кути від 0 до 35°. За результатами імітації плоского криволінійного руху АНПА з гребним гвинтом в поворотній насадці видно, що розроблена САК ефективно компенсує відхилення упору рушійного пристрою, яке в результаті не перевищує 2 %. Таке незначне відхилення упору рушійного пристрою майже не впливає на швидкість руху АНПА. Розроблений регулятор дає змогу компенсувати відхилення упору рушійного пристрою без відпрацювання помилки, що підвищує точність роботи системи автоматичного керування швидкістю руху АНПА.

Список використаних джерел

1. Блінцов С. В., Грудініна Г. С. Застосування математичної моделі руху підводного апарата для побудови оптимальної за швидкістю системи керування з компенсацією зовнішніх збурень. Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. – Миколаїв: НУК, 2008. – №3(420). – С. 77-83.
2. Алоба Л. Т., Блінцов С. В., Грудініна Г. С. Математичне моделювання динаміки автономного підводного апарата на плоскій циркуляції. Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. – Миколаїв: НУК, 2017. – №4. – С. 53-60.
3. V. Blintsov, H. Hrudinina. (2019). Mathematical modeling of autonomous underwater vehicle propulsion and steering complex operation in oblique (beveled) water flow. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4/9 (100), 10-28.
4. Грудініна Г. С. Удосконалення системи автоматичного керування швидкістю руху АНПА. Підводна техніка і технологія: XI Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю. – Миколаїв: НУК, 2021. – С. 113-118.
5. Блінцов В. С., Грудініна Г. С., Король Ю. М., Надточий А. В. Дослідження роботи рушійно-рульового комплексу підводного апарата в косому потоці води методами математичного моделювання. Підводна техніка і технологія: XI Всеукраїнська науково-технічна конференція з міжнародною участю. – Миколаїв: НУК, 2021. – С. 13-27.

УДК 681.5

Рябенський В.М., Поповенко П.Ю., Ковальов О.В.

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

СХЕМА ЗАХИСТУ ЗАРЯДНОГО ПРИБОРУ ВІД НЕПРАВИЛЬНОЇ ПОЛЯРНОСТІ ПІДКЛЮЧЕНОГО АКУМУЛЯТОРА

Чому переполюсовка живлення стає дедалі серйознішою проблемою

При зарядженні акумуляторів слід уділяти увагу правильному підключенню схем плюс до плюсу, мінус до мінусу. Кожен може переплутати полярність зарядного пристрою, та підключити акумулятор неправильно, якщо зарядний пристрій не має захисту від неправильно підключеного акумулятору то скоріш за все зарядний пристрій вийде з ладу, а це призведе до непередбачуваних витрат фінансів і часу. Вийти з ладу може не тільки зарядний пристрій, а й акумулятор, а це може призвести до вибуху або отруєнню парами електроліту

При переполюсуванні акумулятора або при перехідних процесах під час комутації індуктивного навантаження на лініях живлення виникають напруження зворотної полярності, здатні призводити до серйозних збоїв та пошкоджень електронних систем та блоків. Зворотна полярність при неправильному вклученні акумулятора небезпечна ще й тим, що акумулятор протягом деякого часу може без проблем видавати струм до декількох сотень ампер.

Дана схема дозволяє забезпечити захист зарядного пристрою від неправильного підключення до акумулятору. Також дозволяє підключати на вихід низькоомне навантаження без спрацювання захисту. по струму має здійснюватися за допомогою інших схем або використовувати зарядні пристрою з режимом стабілізації струму.

Метою роботи: розробка схеми яка зможе уберегти зарядний пристрій та акумуляторну батарею від неправильної полярності при підключенні зарядного пристрою до акумулятора, та матиме високу швидкодію спрацювання, а також можливість постійно мати на виході напругу.

Аналіз схем захисту від неправильної полярності акумулятору

До початку проектування треба розглянути та зважити недоліки і переваги вже готових схемо-технічних рішень. Для зрівняння було вибрано вже існуючі схемо-технічні рішення для захисту від встановлення акумулятор неправильною полярністю на зарядний пристрій. (Рисунок 1. а, б,)

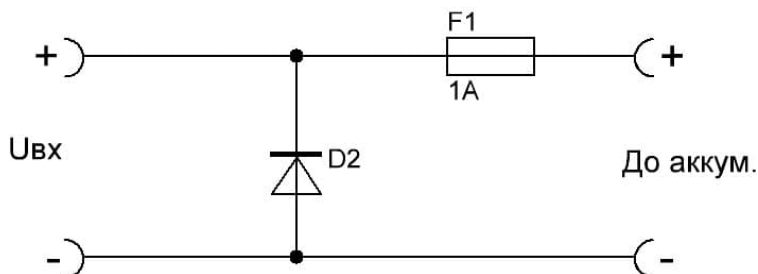


Рисунок 1. а, Схема захисту на запобіжнику

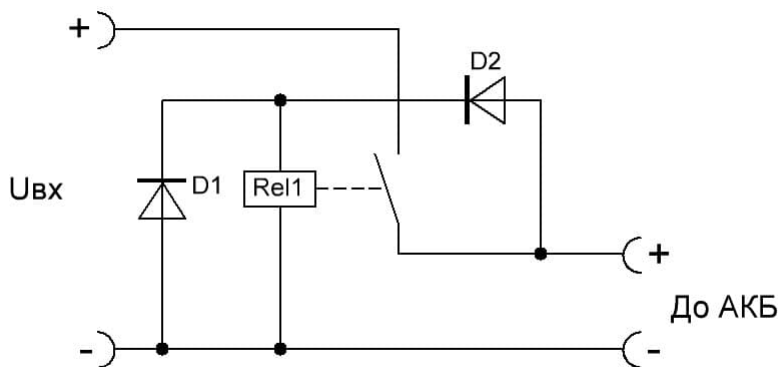


Рисунок 1. б, Схема захисту на реле

Основними перевагами першої схеми є:

- простота побудови;
- використання для широкого діапазону напруг;
- постійне забезпечення напруги на вході;
- не потребує додаткового живлення;

Основним недоліком першої схеми є:

- згорання запобіжника при спрацюванні захисту

Основними перевагами другої схеми є:

- простота конструкції;
- те що без підключеного акумулятора немає вихідної напруги, тому можна використовувати зарядний пристрій без захисту від короткого замикання та перевантаження;

Основним недоліком першої схеми є:

- немає вихідної напруги без підключеного акумулятора;
- після зарядки акумулятора схема залишається в увімкненому стані, і щоб відновився захист схеми потрібно спочатку вимкнути схему захисту;

Принцип роботи вдосконаленої схеми

При включенні джерела живлення до мережі, на входах операційного підсилювача LM358N формується напруга, на неінвертованому вході = $U_{вх}$, а на інвертованому = $U_{вх}/2$, тому ОП на вихід подає $U_{вих} = U_{вх} - 1,25V$, ця напруга подається на затвор транзистора Q3, а струм тече в акумулятор (йде зарядка) (Рисунок 2).

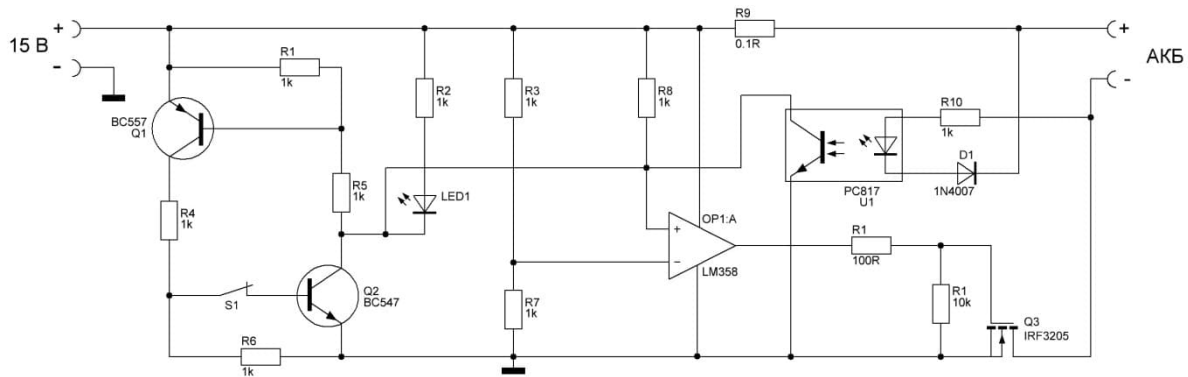


Рисунок 2. Вдосконалена схема захисту зарядного пристрою від неправильної полярності

При неправильному підключенні акумулятора. Зарядний пристрій і неправильно підключений акумулятор підключені послідовно і навантаженням слугує резистор R9 тому весь струм протікає через нього. Опторпара підключена зворотною полярністю тому спрацьовує коли акумулятор підключено не правильно і шунтує неінвертований вхід на масу, а також струм тече в базу транзистора Q1 і тригер на Q1 та Q2 спрацьовує і тримає не інвертований вхід в низькому положенні. Таким чином напруга на неінвертований вхіді нижче чим на інвертованому виході ОП перемикається на низький рівень і струм через транзистор Q3 не тече. Для перезапуску схеми потрібно під'єднати правильно акумулятор та короткочасно натиснути кнопку без фіксації з нормально замкнутим контактом S1.

Висновок: Дана розроблена схема захисту зарядного пристрою від неправильної полярності підключеного акумулятора, створена на основі інших схем захисту від неправильної полярності, та удосконалена згідно поставленої мети.

Список використаних джерел:

- 1) <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1454698/ONSEMI/LM358.html> ;
- 2) Атабеков Г.І. Теоретичні основи електротехніки. Частина 1. Лінійні електричні кола. – М.: Єнергія, 1981р. ;
- 3) Безсонов Л.А. Теоретичні основи електротехніки: Електричні ланцюги: Підручник для вузів. - М.: Виш. шк., 1984р. ;
- 4) Горбачов Г.М., Чаплігін Є.Є. Промислова електроніка. Підручник, М. «Енергоатоміздат», 1988р. ;
- 5) Гутников В. С. Інтегральна електроніка у вимірювальних пристроях. - Л.: «Енергоатоміздат», 1988р. ;
- 6) Малахов В.П. Схемотехніка аналогових пристроїв. Підручник Одеса, "Астра - принт".2000р.

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНА СЕКЦІЯ	3
<i>Скориходов В.А.</i> Сучасний стан комплексної автоматизації управління технічними засобами суден.....	3
<i>Горбов В.Ю.</i> Особливості робастно-оптимального керування рухом квадрокоптера по траєкторії з перешкодами	7
<i>Верещаго Є.М., Костюченко В.І.</i> Синтез закону керування для транзисторного перетворювача напруги, що працює на плазмову дугу.....	10
<i>Черно О.О., Нікуліна А.О.</i> Аналіз сучасного стану та шляхи розвитку систем автоматичного керування електромагнітними вібраційними приводами.....	14
<i>Александровський С.Ю., Бандура С.І., Жук Д.О., Новограцький С.М.</i> Вимірювання частотних характеристик пасивних чотириполюсників.....	16
<i>Топалов А.М., Поворознюк О.С., Роботько С.П.</i> Технічна реалізація мікропроцесорної системи контролю енергоспоживання серводвигунів мобільного робота.....	20
<i>Обрубов А.В.</i> Властивості резонансних перетворювачів як керованих об'єктів.....	22
СЕКЦІЯ 1. АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА	29
<i>Турти М.В.</i> Нейрон «Троянда_1» в системах керування технічними засобами захисту інформації	29
<i>Варганов В.О., Ушкаренко О.О.</i> Експериментальне дослідження роботи розподіленої системи збору даних на основі бездротових технологій.....	31
<i>Козирев С.С.</i> Захист динамічних веб-додатків від несанкціонованої модифікації.....	34
СЕКЦІЯ 2. МОРСЬКЕ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ	36
<i>Гайдай Г.Ю., Грешнов А.Ю.</i> Серверна частина веб-додатку комп'ютерної системи для проведення лабораторних досліджень у дистанційному форматі.....	36
<i>Верещаго Є.М., Стогнієнко Є.В.</i> Вплив особливостей імітаційної моделі процесів плазмового оброблення на показники якості управління джерелом живлення плазмотрона.....	39
<i>Прищепов Є.О.</i> Рефлектометричний перетворювач рівня на базі інтегрального перетворювача «час-код».....	42
СЕКЦІЯ 3. АВТОМАТИКА, ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ І ПРИСТРОЇ	46
<i>Баланський В.П., Ковальчук М.С., Волянський Ю.С., Волянська Я.Б., Волянський С.М.</i> Особливості процесів моделювання руху морських транспортних засобів.....	46
<i>Войтасик А.М., Перевозчиков П.К.</i> Особливості розробки електропривода консольно-поворотного крана вантажопідйомністю 0,3 т.....	49
<i>Войтасик А.М., Сербін П.О.</i> Особливості розробки електропривода стрілового крана з нерухомою колоною вантажопідйомністю 13 т.....	51
<i>Войтасик А.М., Степаненко А.А.</i> Особливості розробки електропривода П-подібного перевантажувача вантажопідйомністю 0,8 т.....	53
<i>Білюк І.С., Савченко О.В., Без'язика А.О.</i> Блок живлення для систем автоматики.....	56
<i>Дьяконов О.С., Малахова Н.Г.</i> Програмно-апаратне моделювання системи керування когенераційною установкою	59
<i>Грудініна Г.С.</i> Система автоматичного керування швидкістю автономного ненаселеного підводного апарату зі стабілізацією упору рушійного пристрою	65
<i>Рябенський В.М., Поповенко П.Ю., Ковальов О.В.</i> Схема захисту зарядного пристрою від неправильної полярності підключеного акумулятора.....	67

Наукове видання

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ – 2023

ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

5–6 квітня 2023 року

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

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

(українською мовою)

Відповідальний за випуск А.В. Обрубов
Комп'ютерна верстка І. С. Серго