

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

АВТОМАТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

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

20-21 листопада 2024 року

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

МАТЕРІАЛИ

Миколаїв 2024

УДК 681.5:621.3

А 22

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

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

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

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

ОРГАНІЗАТОРИ:

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

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

Комп'ютерна верстка:
Відповідальний за випуск:

О.О. Пальчиков
О.О. Пальчиков

© Національний університет кораблебудування, 2024

УДК 519.6

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

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

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

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

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

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

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

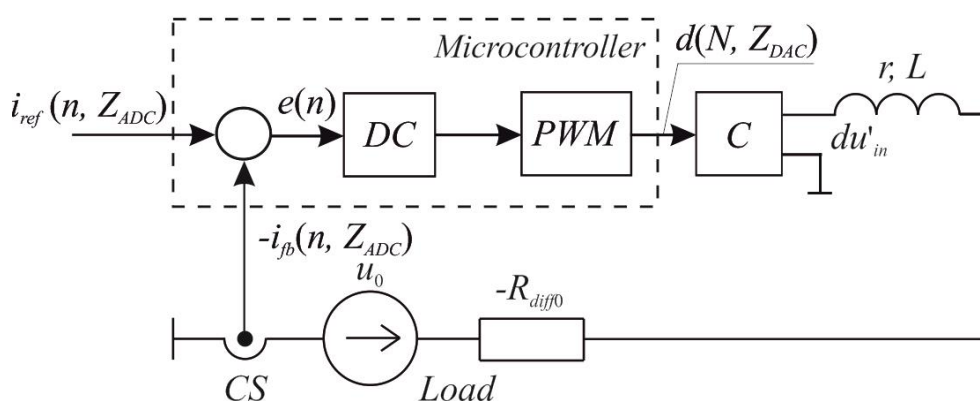


Рисунок 1 – Структурна схема цифрового керування перетворювачем

Передатна функція незмінної частини (C) має вигляд

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

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

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

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

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

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

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

Оптимізовані параметри ПІ-регулятора:

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

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

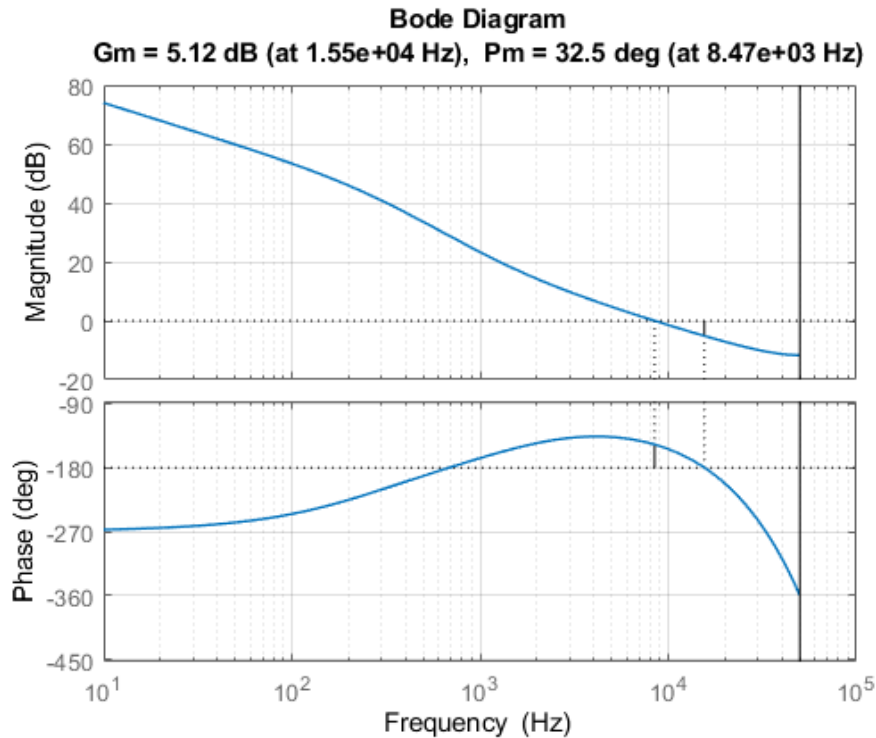


Рисунок 2 – Логарифмічні характеристики замкненої системи

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

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

Ширина смуги пропускання для стабілізації дугового струму – 20 kHz.

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

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

З метою компенсації збурень, спричинених змінами вхідної напруги використовується рівняння

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

де k_u – коефіцієнт передачі компенсаційного каналу,

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

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

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

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

n – коефіцієнт трансформації;

U_m – максимальна напруга.

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

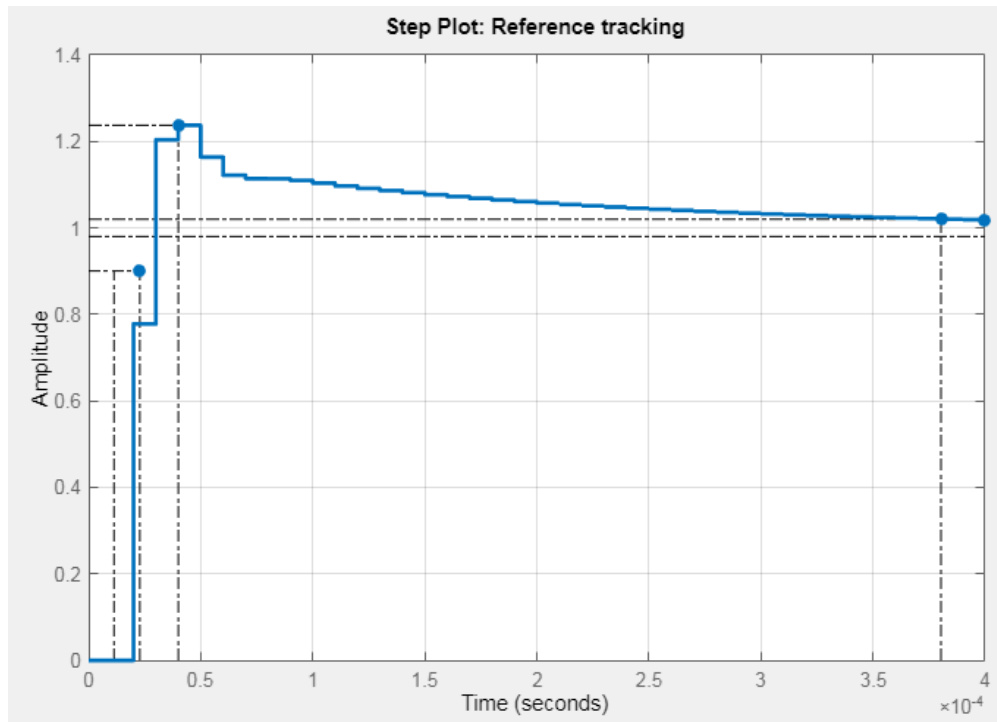


Рисунок 3 – Перехідний процес

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

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

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

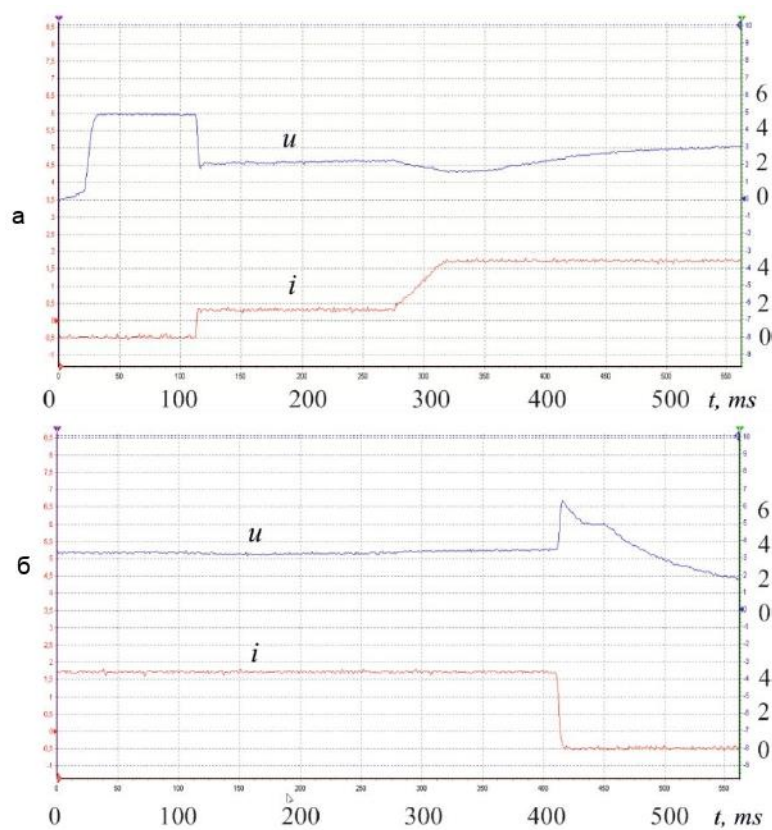


Рисунок 4 – Осцилограми процесу різання

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

Список використаних джерел

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

УДК 621.314

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

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв

ВИЗНАЧЕННЯ КВАЗІСТАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РЕЗОНАНСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ДІОДНИМ ВИПРЯМЛЯЧЕМ

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

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

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

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНА СЕКЦІЯ	3
Дюков В.О., Савицький М.С., Єрмоленко Б.О., Ушкаренко О.О. Використання мобільних роботизованих платформ у навчальному процесі	3
Вережаго Є.М., Джанаїров М.В., Єременко А.П. Моделювання імпульсного джерела живлення для електроплазмових технологій	5
Піряник А.Р., Дьяконов О.С. Принцип роботи та досвід експлуатації паливороздавальних колонок на прикладі «Шельф» серії 200	7
Стрункін Г.М. Аналіз режимів роботи електромеханічної системи автономної ВЕУ з АДМ на базі АГФР зі збудженням від інвертора напруги	11
СЕКЦІЯ 1. АВТОМАТИКА, ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ І ПРИСТРОЇ	15
Бойко Л.М., (керівник – Дьяконов О.С.). Система моніторингу та керування пристроями якості повітря	15
Крижановська О.Л. (керівник – Дьяконов О.С.). Реалізація системи нагляду за мікрокліматом приміщення за допомогою Arduino	19
Мосійчук К.С. (керівник – Дьяконов О.С.). Розробка мікроконтролерного зчитувача безконтактних RFID-карток	22
Трешнюк А.І., Солобута Л.В. Система автоматизованого управління житловим приміщенням MikroTik + Arduino	25
Трешнюк А.І. (керівник – Дьяконов О.С.). Використання роботів-маніпуляторів, виготовлених за допомогою 3D-друку, в освітньому процесі	27
Трешнюк А.І., (керівник – Трибулькевич С.Л.). Огляд та аналіз протоколів дистанційного радіокерування	29
Трибулькевич С.Л., Пілявський О.І. Система моніторингу локальної комп'ютерної мережі закладу освіти	31
Трибулькевич С.Л., Стужук І.І. Багатоканальна система збирання даних з ізоляцією каналів	35
Петрієнко О.О., Овсянников В.М. Загальні характеристики радіоелектронних засобів морських систем спостереження	37
Бондаренко К.А., Овсянников В.М. Стислий аналіз пристроїв систем охоронного сповіщення суден	40
Оглоблев О.В. Комп'ютеризована система керування електроприводами подач фрезерного верстата	45
Серго І.С. Система автоматичного керування приводами промислового маніпулятора	50
Топалов А.М. Особливості побудови сучасних мехатронних систем	55
СЕКЦІЯ 2. ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ	57
Вінниченко І.Л., Гончаренко В.М. Резонансні оберненоходові перетворювачі для безконтактної передачі електроенергії	57
Вережаго Є.М., Стогнієнко Є.В., Маслик В.С., Єременко А.П. Цифрове керування імпульсними джерелами живлення для плазмотронів: синтез та оптимізація	59
Обрубов А.В., Савіцкас О.С. Визначення квазістатичної моделі резонансного перетворювача з діодним випрямлячем	62
Пелипас В.В., Пілявський О.І., Єрмоленко Б.О., Ушкаренко О.О. Структурно-функціональна модель смугового фільтра для обробки аудіо сигналів	67
Білюк І.С., Савченко О.В., Льовкін В.С., Андрєєв П.С. Індукційний нагрівач для лабораторій на базі напівмостового інвертора	69
Соловйов Д.Г., Стужук І.І. Проектування помножувача напруги	71
СЕКЦІЯ 3. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ КОМПЛЕКСИ, ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ І АПАРАТИ	73
Сакутін Б.А., Овсянников В.М. Інноваційні зарядні рішення для електричних і гібридних суден: берегова станція ZPP700/ZPP850 Tower та бортова станція SWC200	73
Грудініна Г.С., Зінченко І.І., Морозов Р.Р. Сучасні принципи оптимізації роботи судових електростанцій	75
Кобилев С.Е., Чекунов В.К. Створення математичної моделі гребної електричної установки подвійного струму	78
Бистреєвський Ю.Є., Овсянников В.М. Аналіз характеристик тягових електроприводів легкових електрокарів	83
Папик В.О., Овсянников В.М. Робота судової електростанції в аварійних режимах	88
Новогорецький С.М., Костюченко В.І., Барішник Ю.М. Датчик активної потужності для трифазної мережі із можливістю відслідковувати низькочастотні коливання	91
Новогорецький С.М., Меліхов Д.С. Спрощена схема заміщення та магнітний розрахунок реактора із врахуванням нелінійності кривої намагнічування	94
Волянський Ю.С., Яценко В.С., Ковальчук М.С., Волянська Я.Б., Волянський С.М. Загальні проблеми побудови електрорушіїв та інших електромеханічних систем малих автономних плавальних апаратів	96
Пальчиков О.О., Гетманцева В.С., Черніков М.О. Огляд стохастичних моделей електричного розряду в однорідних середовищах	98
СЕКЦІЯ 4. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД	101
Васильєв О.Г., Смірнова І.М., Биков М.А. Дослідження системи керування електропривода автоматичної буксирної лебідки	101
Герасимов В.В., Грудініна Г.С. Сучасні тенденції в автоматизації електроприводів порталних кранів	105
Білюк І.С., Савченко О.В., Рачинський А.В., Чубчик М.С. Удосконалення системи керування вантажного насоса	106
Пальчиков О.О., Малиновський В.В. Визначення частотної характеристики лінеаризованого електропривода димососа	108

Наукове видання

АВТОМАТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА – 2024

ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ

20-21 листопада 2024 року

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, проспект Центральний, 3

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

(українською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск:
Комп'ютерна верстка:

О.О. Пальчиков
О.О. Пальчиков

Видавець Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
проспект Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54007

E-mail: publishing@nuos.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2506 від 25.05.2006 р.