

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

**АВТОМАТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА**

МАТЕРІАЛИ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ І МОЛОДИХ УЧЕНИХ

**15-16 листопада 2018 року**

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

**МАТЕРІАЛИ**

Миколаїв 2018

УДК 681.5:621.3  
ББК 81а73  
П 75

**Автоматика та електротехніка:** Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених [Електронний ресурс]. – Миколаїв: НУК, 2018. – 129 с.

У збірнику подані матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених "Автоматика та електротехніка".

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

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

#### **ОРГАНІЗАТОРИ:**

1. МОН України;
2. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;
3. Академія наук суднобудування України.

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

Комп'ютерна верстка:  
Відповідальний за випуск:

М. В. Шилюк  
О. О. Черно

© Національний університет кораблебудування, 2018

## СЕКЦІЯ 1. АВТОМАТИКА, ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ І ПРИСТРОЇ

УДК 621.314.2

Воронков І.І.

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

### СИСТЕМА ПЕРЕДАЧІ ВІДЕОСИГНАЛУ

Телекеруємий ненаселений підводний апарат (ТНПА) (англ. Remotely operated underwater vehicle (ROV)) – це підводний апарат, який керується оператором або групою операторів (пілот, навігатор і ін.) з борту судна. Апарат пов'язаний з судном складним кабелем, через який на апарат поступають сигнали керування і електроживлення, а назад передаються показники датчиків та відео сигнали. Для якісної взаємодії оператора з ТНПА необхідний якісний відеозв'язок. На світовому ринку сьогодні з'являється все більше обладнання для організації цифрової передачі даних, але поки що самим дешевшим та легкодоступним залишається спосіб передачі сигналу в аналоговій формі.

Метою роботи є розробка схеми передавача та приймача відеосигналу з компенсацією згасань. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішені наступні задачі:

- проаналізовано результати роботи математичної моделі передачі відеосигналу по витій парі та дано рекомендації щодо розробки коригуючих ланок;
- розроблено апаратну частину системи відеозв'язку.

Система передачі відео сигналу складається з приймача, передавача та лінії зв'язку. На прийомному кінці сигнал повинен повністю відтворюватись. Для цього розробляються схеми передавача та приймача відеосигналу з компенсацією згасань, на рис. 1 представлена реалізація системи передачі на операційних підсилювачах (ОП).

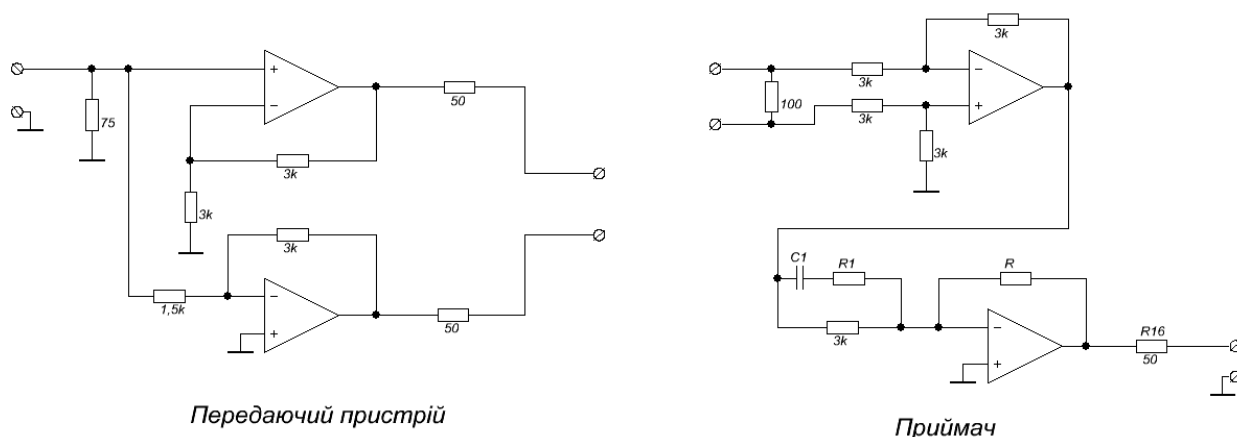


Рис. 1 – Системи передачі сигналу по витій парі на ОП

Розглянемо роботу математичної моделі системи в програмі Electronics Workbench Multisim з пакета NI Circuit Design Suite. Математична модель складає моделі передаючого та приймаючого пристроїв і схему зміщення витої пари, згідно IEEE.802.3 на 100 м (рис. 2). Промодулюємо роботу схеми заміщення, подаючи на вхід дві основні форми сигналу (синусоїда, прямокутник) амплітудою 1 В з різною частотою до 6 МГц тим самим модулюючи полосу пропускання відеосигналу і досліджуємо роботу корегуючих ланок (рис. 3).

Як бачимо, проста ланка корекції суттєво поліпшує форму передаваного сигналу. На практиці при використанні реальних ОП будемо спостерігати запізнення сигналу.

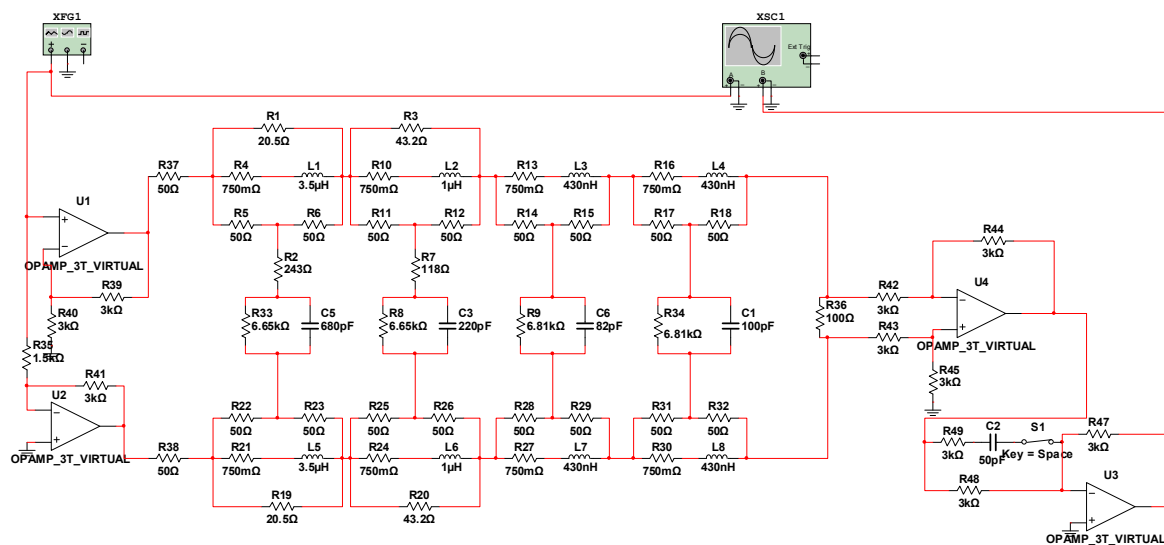


Рис. 2. Схема заміщення виті пари передавач/приймач зроблений на ОП

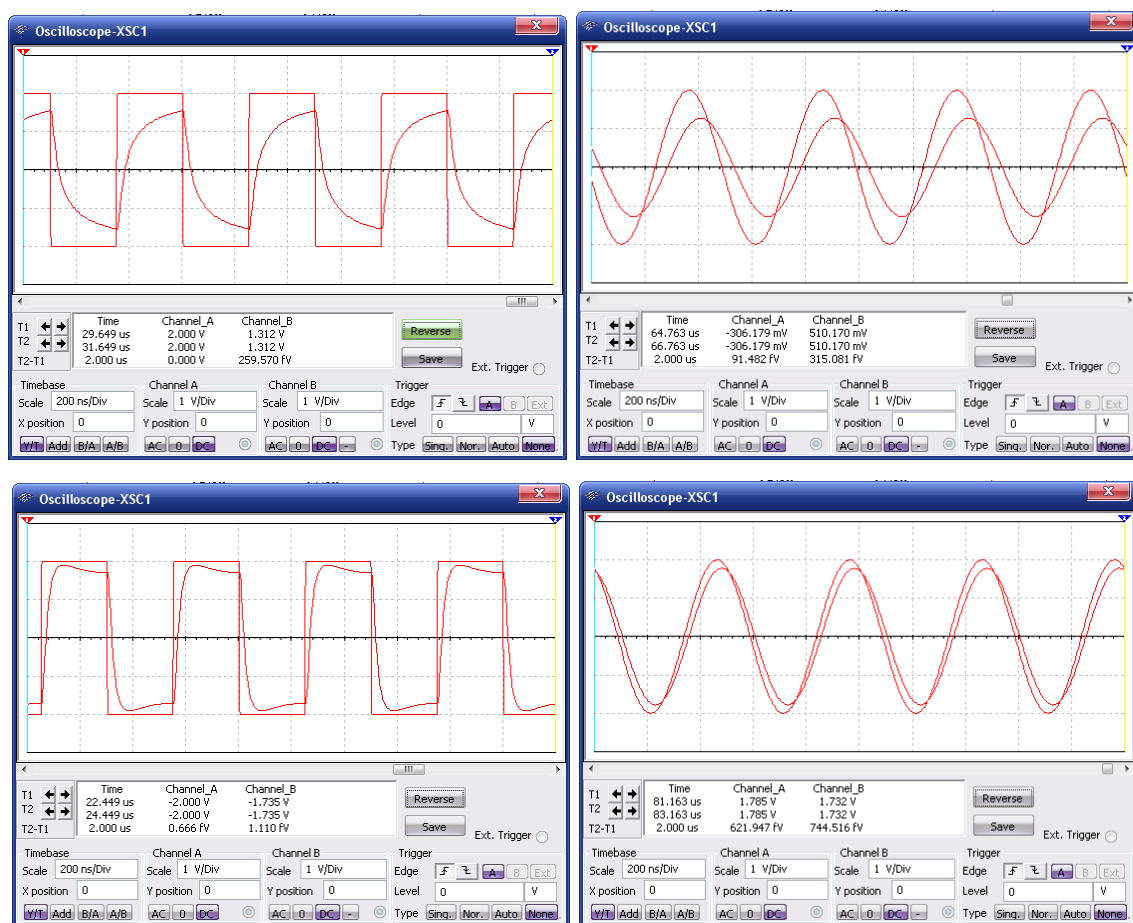


Рисунок – 3. Результати моделювання з корекцією(знизу) та без ланки корекції(зверху)

**Висновки.** Проаналізовано результати роботи математичної моделі передачі відеосигналу по витій парі та показані переваги використання корегуючих ланок..

#### Список використаних джерел

1. Высокоскоростная передача цифровых данных. Высший курс чёрной магии». Пер. С англ. С. А. Добродеева. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 1024 с.
2. И. Г. Смирнов «Структурированные кабельные системы - проектирование, монтаж и сертификация». – М.: Экон-Информ, 2005.
3. Transmission Line Design Handbook, Wadell, B.C., Artech House, 1991.



## УДК 681.5

*Велєв В. В.**Науковий керівник: Черно О. О., к.т.н., доцент кафедри КСУ**Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова*

## СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ СУДНОВОГО ВАНТАЖНОГО МАНІПУЛЯТОРА

В даний час у різних областях промисловості застосовуються промислові маніпуляційні роботи, які використовують для виконання широкого спектру технологічних завдань. Основним типом маніпуляційних систем є механічні маніпулятори. У сучасній промисловості робототехніка знайшла широке застосування як ефективний засіб автоматизації виробництва, заміни людської праці у важких або небезпечних умовах. Промислові роботи використовуються для вирішення маси найрізноманітніших виробничих і технологічних завдань. Дані завдання завжди пред'являють до маніпуляторів строгі вимоги по ряду критеріїв: по точності вимірювання положення та точності позиціонування, за кількістю ступенів свободи і рухливості ланок, по енергоефективності та габаритам. У зв'язку з цим, розробка як самого маніпулятора, так і програми управління представляє складне завдання, яке передбачає багаторічне рішення. Висока маніпулятивність сучасних мехатронних комплексів, їх пристосованість до зовнішнього середовища і відносна автономність вельми приваблива для цілого ряду областей застосування - автоматизованого виробництва, космічних і підводних досліджень, медицини, домашнього господарства [1].

До специфічних особливостей використання електроприводу можна віднести роботу в суттєво нестаціонарних навантажувальних режимах, обумовлених зміною конфігурації маніпуляційної системи. Крім того, нестационарність навантаження приводить до суттєвих коливань приведенного до валу електродвигуна моменту інерції навантаження, що пред'являє додаткові вимоги до динамічних характеристик привода. Недоступними є також коливальні режими роботи або перегулювання під час відпрацювання заданих програмою переміщень з метою уникання можливих ударів робочих органів по обслуговуючому обладнанню.

Метою роботи було створення цифрової системи автоматичного керування судновим вантажним маніпулятором.

В роботі здійснено:

- Визначено закони зміни у часі кутів повороту ланок маніпулятора при відпрацюванні типової траєкторії руху схвата до об'єкта. Це дало змогу обчислити максимальні кутові швидкості та прискорення ланок, а потім – максимальні моменти навантаження;
- Планування траєкторії маніпулятора;
- Розрахунок максимальних моментів навантаження на кожну із ланок маніпулятора;
- Вибір оптимальних приводних двигунів, які задовільняють систему управління по енергоефективності та потужності [2];
- Синтез бажаних передавальних функцій систем керування електроприводами ланок;
- Методом бажаних ЛАЧХ визначено параметри і структуру коригуючих пристроїв. Методом відображення диференціалів розраховано їх дискретні передавальні функції;
- Розрахунок частотних характеристик тавизначення запасів стійкості систем керування;
- Моделювання динаміки електроприводів ланок і визначення показників якості керування.

### Список літератури

1. Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.А., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов, промышленных роботов и роботизированных комплексов. Учебное пособие.-М.: Высш.школа, 1986.-264 с.
2. Волокитина, Е. В. Новые моментные вентильные электродвигатели для прецизионных электроприводов технологических роботов и металлообрабатывающего оборудования [Текст] / Е. В. Волокитина, А. И. Власов, Ю. Г. Опалев // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2011. – №4. – С. 37 – 40.

УДК: 629.5

Ангелов Д. О. магістр, керівник Овсянников В. М., доцент, к.т.н., доцент кафедри ЕІС та РК,  
Грудініна Г. С., викладач кафедри ЕІС та РК.  
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

## ПРОБЛЕМАТИКА СТВОРЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПРОСТОРОВИМ РУХОМ В УМОВАХ НЕСТАЦІОНАРНОСТІ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

За експертними даними, на даний час, великий відсоток промислових автоматичних систем регулювання побудовані на основі ПІД-регуляторів. Це переконання підкріплюється тим, що алгоритм їх функціонування вдало імітує роботу досвідченого фахівця-оператора, який враховує не лише відхилення регульованої величини, але й напрям та швидкість її зміни. Водночас проблемою є досить низька якість їх налаштування. Необхідно врахувати той факт, що останнім часом, задачі які необхідно вирішувати без втручання людини значно ускладнюються. Наприклад, завдання керування просторовим рухом автономного підводного апарата (АПА) в умовах нестационарності його параметрів належить до задач, які неможливо вирішити з необхідною точністю з використанням лише ПІД-регулятора [1].

Взагалі, задача керування будь-яким складним динамічним об'єктом може бути сформульована в такий спосіб. Є деякий динамічний об'єкт, поведінку якого описується вектором виходів (керованих змінних):  $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T$  й вектором змінні стану  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ , (рис.1). Потрібно перевести даний об'єкт із початкового стану  $x(t_0)$ , у якому він перебуває в момент часу  $t = t_0$ , у заданий кінцевий стан  $x^*$ , якому відповідає певне значення вектору виходів  $y^*$  [2].

Для вирішення цього завдання, тобто для керування станом об'єкта, використовується керуючий пристрій (регулятор). Процедура синтезу керуючого пристрою, як правило, містить у собі наступні етапи:

- побудова або одержання математичної моделі об'єкта керування (у вигляді диференціальних, різницьових або інтегральних рівнянь, частотних характеристик);
- завдання вимог до якості процесів керування, тобто до поведінки системи автоматичного керування (САК) у цілому;
- визначення структури й параметрів керуючого пристрою (у вигляді деякої аналітичної залежності, що виражає вектор  $u$  через вектори  $g, x, y, f$ ).

Разом з тим застосування даного підходу до АНПА має багато серйозних ускладнень. Так, точна математична модель реального об'єкта часто виявляється занадто складною або зовсім невідомою. Зміни навколишнього середовища приводять до дії на об'єкт різного роду збурень – сигнальних, параметричних і структурних, що є додатковим джерелом невизначеності його параметрів. Складність рішення даного завдання обумовлена й тим, що самі вимоги до системи найчастіше можуть бути задані лише приблизно.

Враховуючи те, що АНПА належить до категорії *складних динамічних об'єктів*, тобто він є багатомірним (має кілька входів й виходів), описується диференціальними рівняннями високого порядку, має істотно нелінійні характеристики й т.п., то вибір алгоритму адаптації різко ускладнюється, оскільки виникає проблема збіжності (стійкості) процесів адаптації в системі.

Вихід зі сформованої ситуації – використання алгоритмів інтелектуального керування (*Intelligent control*), що дозволяють відмовитись від необхідності одержання точної математичної моделі об'єкта, орієнтації на застосування «твердих» (найпростіших, як правило, лінійних) алгоритмів формування керуючих впливів, прагнення скористатися відомими розроблявачеві методами синтезу, що раніше позитивно зарекомендували себе для інших, більш простих класів об'єктів.

Розрізняють декілька сучасних інформаційних технологій, що дозволяють створювати інтелектуальні СК:

- експертні системи;
- штучні нейронні мережі (artificial neural networks);
- нечітка логіка (fuzzy logic);
- еволюційні методи і генетичні алгоритми (genetic algorithms).

Перераховані методи називають «Soft computing», підкреслюючи їх відмінність від «hard computing», що виражається в можливості оперувати з неповними і неточними даними [3].

Дана робота присвячена створенню системи керування просторовим рухом АНПА з використанням комбінації перерахованих методів: фазі-ПІД, нейрон-ПІД, нейрон-фазі-ПІД-регуляторів, що дозволить значно покращити якість керування об'єктом при нестационарності його параметрів.

При створенні вказаної системи було застосовано поєднання фазі-ПІД регулятора. Математичне моделювання розробленої системи керування виконано в системі Simulink середовища Matlab, рис. 1.

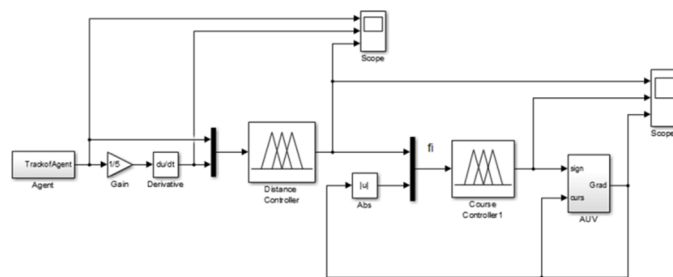


Рисунок 1 – Структурна схема САК АНПА, реалізована в системі Simulink

Розроблена математична модель керує кутом перекладки поворотної насадки АНПА, та дозволяє утримувати об'єкт керування на заданій траєкторії. На рисунку 2 представлено структуру нечіткого регулятора курсу реалізованого в системі Simulink.

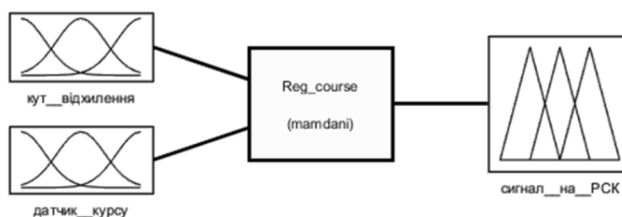
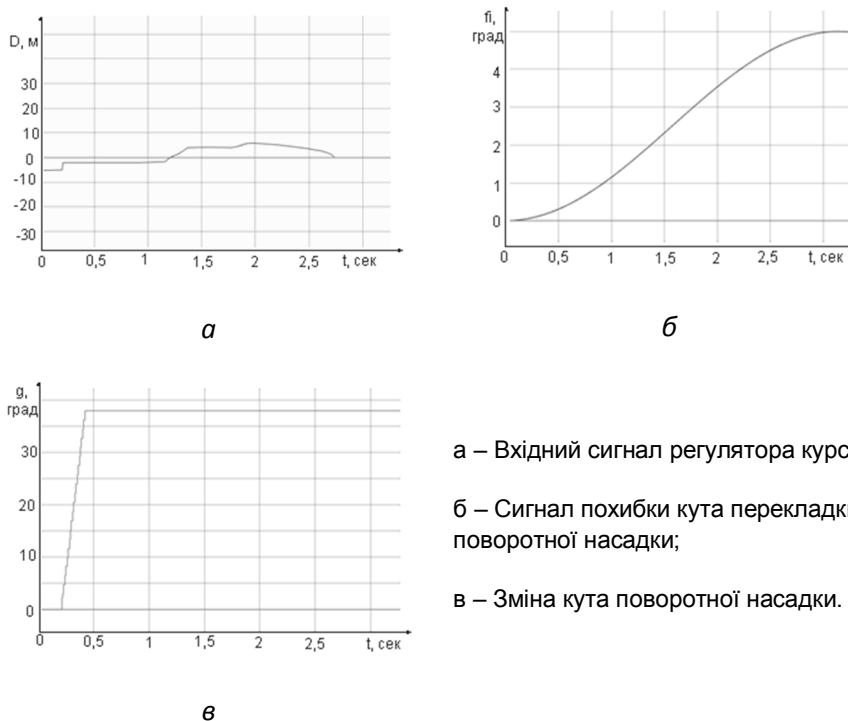


Рисунок 2 – Структура нечіткого регулятора курсу

На рисунку 3, а представлено сигнал, що надходить на регулятор курсу від регулятора дистанцією, при було встановлено синусоїдальну зміну траєкторії.



а – Вхідний сигнал регулятора курсу;

б – Сигнал похибки кута перекладки поворотної насадки;

в – Зміна кута поворотної насадки.

Рисунок 3 – Результати моделювання траєкторного руху АНПА з нечітким регулятором в системі Simulink

На рисунку 3, б представлено сигнал похибки між дійсним кутом перекидання поворотної насадки реальним курсом апарата.

На рисунку 3, в представлено сигнал, що надходить на РСК, та дозволяє керувати кутом поворотної насадки АНПА.

Як видно з результатів моделювання апарат змінює траєкторію руху коли вхідний сигнал регулятора курсу порушує встановлений діапазон відхилення руху.

#### Список використаних джерел

1. Ставинський, А.А. Удосконалення математичної моделі самохідного підводного апарата для дослідження просторового руху / А.А.Ставинський, С.В. Блінцов // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. – Миколаїв: НУК, 2004. – № 3 (396). – С. 161–166.
2. Искусственный интеллект: справочник / под ред. Э.В. Попова. – М.: Радио и связь, 1990. – Т.1. – 461 с., Т.2. – 304 с., Т.3 – 363 с.
3. Грудініна, Г.С. Розробка ПІД-регулятора швидкості руху підводного апарата / Г.С. Грудініна // ІКСК Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів, молодих вчених з міжнародною участю. – Миколаїв: НУК, 2009. – С. 88–90.

УДК 004.03:004.738.5

Кіліманов Б.О., Герасін О.С.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова

## ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

«Розумний будинок» (англ. Smart House) - об'єкт який оснащений різними датчиками, вимірювальними та керуючими приладами, засобами комунікації – інтернет-речами, які полегшують наше життя. В майбутньому проглядається перспектива широкого поширення технологій "Розумного будинку" або його компонентів на практично всі будинки, квартири, підприємства. Важливою особливістю «Розумного будинку», яка відрізняє його від інших способів організації життєвого простору, є те, що це найбільш прогресивна концепція взаємодії людини з житловим простором, коли користувач однією командою задає бажану обстановку, а вже автоматика відповідно до зовнішніх і внутрішніх умов задає і відстежує режими роботи інженерних систем і електроприладів [1].

Мета роботи полягає у проведенні аналізу самої концепції системи «Smart House», виявленні її головних переваг та недоліків, відзначенні можливих шляхів удосконалення існуючих рішень у цьому напрямі.

Однак зараз ця прогресивна технологія користується не дуже великою популярністю, тому що має свої переваги, які сприяють її поширенню, і недоліки, які, навпаки, стримують її розвиток.

**Переваги** самої системи:

- **Економія.** Незважаючи на те, що повна окупність системи «Розумний будинок» розрахована на 5-8 років, вона відразу дозволяє зменшити витрати на комунальні послуги на 10-30% [2].
- **Охорона і захист.** Дозволяє стежити за житловою площею і захищати її від злоумисників, пожежі, потопу та інших лих.
- **Комфорт.** Система в автоматичному (налаштованому) режимі буде взаємодіяти з приладами, які забезпечують потрібну температуру і вологість в приміщенні, рівень освітленості в будь-який час доби, приготування їжі, прибирання, тощо.

Так само необхідно відзначити перешкоди на шляху поширення цієї технології.

**Недоліками** системи є:

- **Вартість.** Постачальники обладнання оцінюють вартість готової системи у межах 5-15 тис. у.о. В даний час це ціна для кімнати або невеликої квартири чи будинку, тобто вона є високою для більшості населення [2].
- **Якість обладнання.** Як і будь-яка складна система, «розумний будинок» може вийти з ладу. Зараз в країні відчувається брак спеціалістів, здатних розробляти подібні системи, правильно узгоджувати готове обладнання в залежності від існуючих умов, вимог замовника та економічної доцільності.
- **Безпека.** Комунікація всіх елементів системи здійснюється по мережі, тому весь час існує загроза кібератак.
- **Комунікабельність.** На даний момент «розумний будинок» - в основному, дротова технологія. Хоча закордоном активно розробляють бездротові системи [3].
- **Енергозалежність.** При будь-якому знеструмленні об'єкту, всі компоненти та системи перестають працювати та можуть вийти з ладу, що може призвести до непередбачуваних ситуацій.

В результаті аналізу недоліків системи пропонуються можливі теоретичні рішення деяких проблем, а саме:

- для системи «Розумний будинок» розробити автономне живлення з підзарядкою у випадку знеструмування шляхом встановлення малих станцій та підстанцій альтернативної енергетики, батарей та контролерів зарядки, що дозволить покращити стан проблеми енергозалежності;
- замінити дротову технологію реалізації системи бездротовою, зокрема вбачається застосування спеціальних програмних і апаратних засобів – віртуальних серверів, які виконують функції реальних серверів обробки даних, що дозволить покращити стан проблеми комунікабельності.

**Висновки.** Система «Розумний будинок» досить нова розробка, яка потребує подальшого розвитку. Проведений аналіз самої концепції системи «Smart House» виявив її головні переваги та недоліки. Зокрема, проблеми комунікабельності, енергонезалежності доцільно вирішувати в першу чергу для приватних будинків та домогосподарств. Запропоновані рішення розглянутих вище недоліків на даному етапі мають теоретичний характер та потребують експериментальних досліджень для їх ефективного впровадження.

#### Список використаних джерел

1. Л. Ш. Кадырова. «УМНЫЙ ДОМ»: ИДЕОЛОГИЯ ИЛИ ТЕХНОЛОГИЯ». МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЖУРНАЛ, ISSN 2303-9868, №5 (12), 2013, часть 3, с. 86-87.
2. «Умное здание». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://goo.gl/g9HNxN>.
3. Буров, Євген Вікторович. Комп'ютерні мережі / Є. Буров; За ред. В. Пасічника. – 2-е вид, оновлене і доп. – Львів : БаК, 2003. – 584 с. : іл. – ISBN 966-7065-41-3

УДК 007.52:681.51

*Іванченко А.О.*

*Науковий керівник Покровський М.В., к.т.н., доцент кафедри КСУ*

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

### ОГЛЯД СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СУШИЛЬНОЮ УСТАНОВКОЮ

На збільшення виробництва зерна спрямовані і технології його сушіння, покликані зберегти урожай. Як правило, необхідно висушувати 70 ... 80% валового збору зерна. При прогнозованому виробництві зерна в 100 млн. тон на його сушку доведеться витратити близько 1 млн. тон рідкого палива. Тому особливо актуальною є проблема зниження енергоємності зерносушіння шляхом використання низькотемпературної сушіння, вентильованих бункерів, інтенсифікації сушки. Сільськогосподарське виробництво, на відміну від інших видів виробництва, володіє значним ресурсом – запасеною енергією біологічного об'єкта. При цьому використання інформаційного підходу до опису реакцій біологічних об'єктів на зовнішній вплив дозволяє розробляти засоби підвищення врожайності, продуктивності зерносушильного обладнання, зниження енергоємності процесу сушіння зерна.

Враховуючи всі нюанси, потрібно дослідити більш універсальну систему управління для різних типів сушильних установок та досліджувати процес управління сушильною установкою для формування математичної моделі та оптимізації енерговитрат при сушінні для покращення роботи сушильної установки.

Робота направлена на вирішення питання можливості збільшення кількості та ефективності виробництва зерна за рахунок застосування енергозберігаючих технологій його сушіння і передпосівної обробки активним вентильованням, розроблених на базі інформаційного підходу.

Сушильні установки широко застосовуються для висушування препаратів при лабораторних дослідженнях, для стерилізації посуду та інструментів, для просушування продуктів харчування (ягід, овочів), для термічної обробки матеріалів і т. п. [1].

Усередині сушильної установки поміщений електричний нагрівач і регулятор температурного режиму, що полегшує його експлуатацію. Залежно від вимог замовника виробляються кілька типів сушильних установок, що відрізняються один від одного системами вентиляції, місткістю, регулятором температури, матеріалом, з якого виготовлена сушильна камера.

У більшості модифікацій сушильних установок застосовується вентиляційна система примусового виду, коли вбудований вентилятор надає рух повітря по всій сушильній установці. В цьому випадку температурні режими постійні в усіх частинах робочої камери. Однак в вентиляційних системах сушильних установок може бути застосована і природна вентиляція, яка здійснюється за допомогою вентиляційних каналів. Сушильні установки також можуть виконувати підігрів, прожарювання і інші види робіт при температурах від +50 до + 350° С.

Різні закони регулювання формуються у відповідних пристроях. Ці пристрої бувають релейні, пропорційні (П), пропорційно-диференційні (ПД), інтегральні (І), пропорційно-інтегральні (ПІ), пропорційно-інтегрально-диференційні (ПІД) [2].

**П-закон регулювання** відпрацювати регулятор може при використанні їм величини і знака неузгодженості керованої змінної (рис.1), тобто  $\pm \Delta x$ . П - закон автоматичного регулятора записується рівнянням виду

$$u = -K_p \Delta x, \quad (1.1)$$

де  $K_p$  - коефіцієнт пропорційності або посилення.

Знак мінус у правій частині рівняння (1.1) вказує на те, що під час роботи автоматичної системи зміна вихідного сигналу регулятора  $\Delta x$  призводить до зміни величини  $u$  в зворотному напрямку.

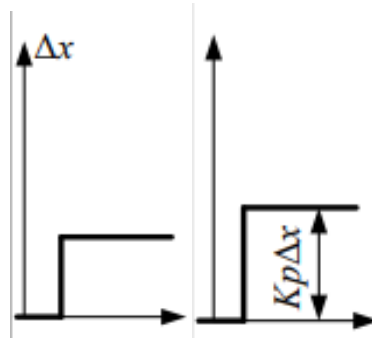


Рис.1 – Вхідний та вихідний сигнали при П-регулюванні

У промислових регуляторах передбачена можливість зміни коефіцієнта посилення. Тому він є параметром налаштування регулятора. Переваги - простота. Недоліки - регулятор не може повністю ліквідувати помилку.

**ПД - закон регулювання** відпрацювати регулятор може при використанні їм величини і знака неузгодженості керованої змінної ( $\pm \Delta x$ ) і швидкості (похідною) цього неузгодженості ( $d\Delta x / dt$ ). Виконання швидкості відхилення означає введення в закон регулювання передув впливу.

ПД-закон регулювання являє собою суму впливів пропорційної і диференціальної складових і записується рівнянням виду

$$u = -\left[ K_p \left( \Delta x + T_d \frac{d\Delta x}{dt} \right) \right], u = -\left[ K_p \left( \Delta x + \frac{1}{T_n} \int_0^t \Delta x dt + T_d \frac{d\Delta x}{dt} \right) \right]. \quad (1.2)$$

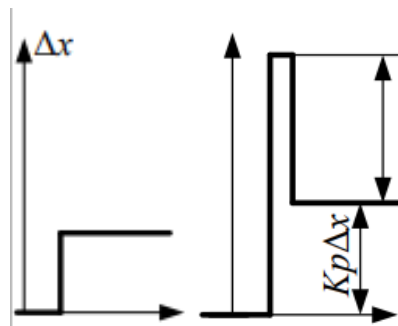


Рис. 2 – Вхідний та вихідний сигнали при ПД-регулюванні

На рис. 2 за рахунок додаткового введення в П-закон регулювання диференціальної складової, значення вихідного сигналу і в перехідному режимі істотно збільшується в порівнянні з вихідним сигналом П-регулятора.

**І-закон регулювання** відпрацювати регулятор може при використанні їм інтеграла відхилення регульованої величини від завдання за час  $t$  і напрямки цього відхилення, т. е.  $\int \Delta x dt$ .

І-закон регулювання записується рівнянням виду:

$$u = -\frac{1}{T_i} \int_0^t \Delta x dt, u = -\frac{1}{T_i} \int_0^t \Delta x dt, \quad (1.3)$$

де - коефіцієнт пропорційності, що характеризує швидкість виконавчого механізму через нього постійну часу  $T$ . Величину  $T$  – називають постійної часу інтегрування. Вихідний сигнал І-регулятора буде мати тим більше значення, ніж більше відхилиться регульована величина  $x$  від завдання  $X_0$  і чим довший буде це відхилення.

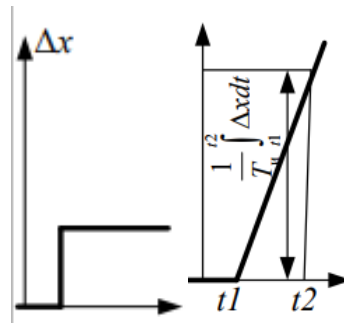


Рис.3 – Вхідний та вихідний сигнали при І-регулюванні

Як видно з рис. 3 крива зміни вихідного сигналу і при ступінчастому зміні  $\Delta x$  є прямою лінією, кут нахилу якої до осі  $t$  залежить від величини  $\Delta x$ .

Недоліки - динамічні властивості гірше ніж у П - регулятора. Тобто процес регулювання відстає від процесу появи і зміни відхилення, що призводить до слабозатухаючих коливань регульованої величини біля заданого її значення, тобто подовжується час регулювання.

**ПІ - закон регулювання** відпрацювати регулятор може при одночасном використанні їм величини і знака неузгодженості  $\pm \Delta x$  і інтеграла від цього неузгодженості  $\int \Delta x dt$  (рис.4).

ПІ-закон регулювання записується рівнянням виду

$$u = - \left[ K_p (\Delta x + \frac{1}{T_i} \int_0^t \Delta x dt) \right] \quad (1.4)$$

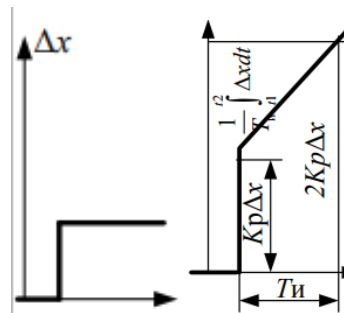


Рис.4 – Вхідний та вихідний сигнали при ПІ-регулюванні

ПІ-регулятори конструктивно виконують так, що негативний зворотний зв'язок в них має максимальний вплив лише в початковий момент часу, а потім вона поступово знімається дією інерційної позитивного зворотного зв'язку.

Коефіцієнт посилення  $K_p$  і час ізодрома  $T_i$  є параметрами налаштування ПІ-регулятора. ПІ-регулятор усуває недоліки і зберігає переваги пропорційного і інтегрального законів регулювання.

**ПІД - закон регулювання** відпрацювати регулятор може при використанні їм величини і знака неузгодженості  $\pm \Delta x$ , а також похідною  $d\Delta x / dt$  і інтеграла  $\int \Delta x dt$  від цього неузгодженості (рис.5).

ПІД-закон регулювання записується рівнянням виду

$$u = - \left[ K_p (\Delta x + \frac{1}{T_i} \int_0^t \Delta x dt + T_d \frac{d\Delta x}{dt}) \right] \quad (1.5)$$

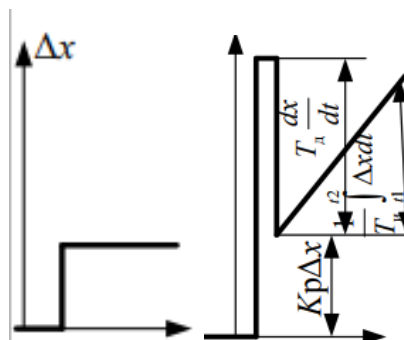




Рис.5 – Вхідний та вихідний сигнали при ПІД-регулюванні

Коефіцієнт посилення  $K_p$ , час ізодрома  $T$  і час передування  $T_d$  є параметрами налаштування ПІД-регулятора.

Перевага ПІД-регулятора над ПД регулятором обумовлюється відсутністю залишкової статичної нерівномірності, а перевага над ПІ-регулятором полягає у відпрацюванні передую впливу.

При виборі типу регулятора слід сформулювати необхідні вимоги до якості регулювання.

**Максимальна динамічне відхилення**  $X_1$  (див. Рис. 6) є найважливішим показником характеру перехідного процесу. Величина його має велике значення у випадках, коли за технологічними умовами значне відхилення від завдання неприпустимо.  $X_1$  залежить від динамічних властивостей об'єкта регулювання, величини обурення, прийнятого закону регулювання і настройки регулятора.

**Динамічний коефіцієнт регулювання**  $R_d$  визначає ступінь впливу регулятора, понижуючого динамічне відхилення, і являє собою відношення максимального відхилення  $X_1$  до відхилення від завдання  $X_0$  при тому ж обурення, але без регулюючого впливу (див. рис. 6).

$$R_d = \frac{X_1}{X_0} = \frac{X_1}{K_{об} \mu \%}. \quad (1.6)$$

**Перерегулювання** характеризує ступінь коливальності перехідного процесу і визначається відношенням другий, протилежно спрямованої амплітуди коливаний  $X_2$  до першої  $X_1$  (рис. 6).

**Час регулювання** охоплює період часу  $t_p$  (рис. 6) з моменту відхилення регульованої величини до повернення її регулятором до заданого значення.

**Залишкове відхилення.** На рис. 6, а регульована величина в кінці процесу регулювання повністю повертається до заданого значення.

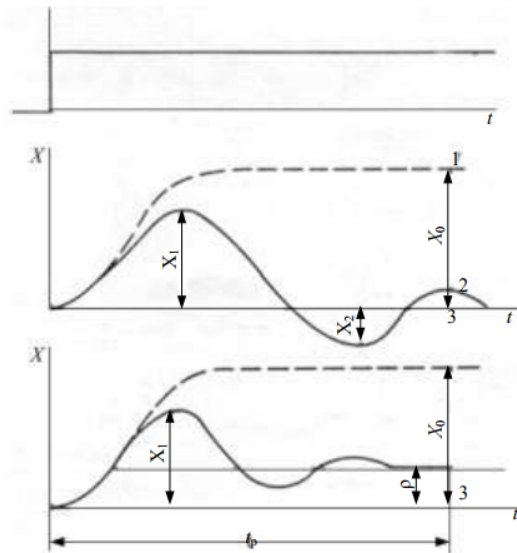


Рис.6 – Перехідні процеси регулювання: а - без залишкового відхилення;

б - із залишковим відхиленням; 1 - без регулятора;

2 - при роботі регулятора; 3 - задане значення

**Висновки.** Розглянуті сушильні установки, проведено опис законів регулювання, що можуть бути використані в системі автоматичного управління сушильною установкою, вказані їхні переваги. Також сформульовані вимоги до якості регулювання

Для вибору оптимального режиму та дослідження процесу його управління, необхідно побудувати симуляційну модель сушильної установки. Результати моделювання дадуть змогу визначити параметри, зміна яких призведе до зменшення часу та енерговитрат під час процесу сушіння.

#### Список використаних джерел

1. Лебедев П. Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. – М.: Энергия, 1972. – 320с.
2. Иванов А. О. Теорія автоматичного керування: підручник [для студентів ВНЗ]. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. – 250 с.



УДК 007.52:681.51

Іванченко А.О.

Науковий керівник Покровський М.В., к.т.н., доцент кафедри КСУ

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв

## СИМУЛЯЦІЙНА МОДЕЛЬ ТЕПЛО- І ВОЛОГООБМІНУ В ЕЛЕМЕНТАРНОМУ ШАРІ ПРИ СУШІННІ ЗЕРНА АКТИВНИМ ВЕНТИЛЮВАННЯМ

Дослідженнями [1] показано, що збільшення продуктивності вентилятора калориферної установки, коли відносна вологість атмосферного повітря  $F_a < 65\%$ , призводить не тільки до збільшення швидкості сушки, але і до зниження сумарних енерговитрат. Це відбувається тому, що зниження відносної вологості атмосферного повітря впадає зі зростанням його температури, що в поєднанні зі швидкістю агента сушіння призводить до значного зростання видалення вологи. Таким чином, використання енергетичного потенціалу атмосферного повітря дозволяє одночасно вирішити два завдання: зниження енергоємності процесу і збільшення його продуктивності. Для реалізації такого способу необхідно вирішити задачу управління процесом.

Для реалізації управління процесом сушіння необхідно мати: регульований електропривод вентилятора калорифера; модель тепловологообміну в зерновому шарі, що дозволяє розраховувати зміну параметрів сушильного агента і зернового шару.

Модель тепловологообміну в зерновому шарі повинна описувати процеси, що відбуваються в шарі при зміні вхідних параметрів агента сушіння (температури і відносної вологості) і при зміні його швидкості.

Сушильна камера як об'єкт управління температурою зерна є складною динамічною системою [2], вхідні і вихідні змінні якої взаємопов'язані (рис. 1). Стан процесу визначається температурою  $J_3(t)$  і вологовмістом  $W(t)$  зерна, їх початкові значення  $J_{30}(t)$  і  $W_0(t)$  визначають умови сушіння, а температура теплоносія  $J_T(t)$  і експозиція  $\omega(t)$  – режим обробки.

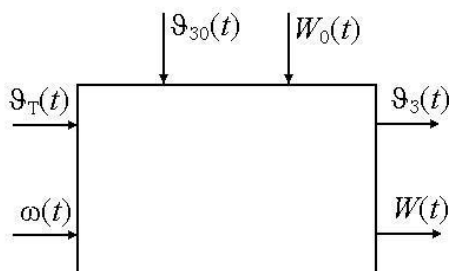


Рис. 1. Структурна схема сушильної камери

Вхідні змінні  $J_{30}(t)$  і  $W_0(t)$  протягом часу змінюються стохастично в широких межах, що збуджує коливання вихідних змінних  $J_3(t)$  і  $W(t)$ . Інтервал коливань перевищує допуски, що задаються аграрними вимогами, що підтверджує необхідність їх автоматичного контролю і регулювання [3].

Існуючі моделі процесу сушіння зерна базуються на рівнянні [4, 5, 6] для тривалості сушіння і дозволяють визначити вологість зернового шару при його сушінні в різні моменти часу:

$$\tau = \frac{W_0 - W_{k.n.}}{N} + \frac{2,3}{K} \ln \left( \frac{W_{k.n.} - W_p}{W - W_p} \right),$$

де:  $N$  – швидкість сушіння в першому періоді,  $\%/хв.$ ;  $K$  – коефіцієнт сушіння, який залежить від властивостей матеріалу і режиму сушки,  $1/хв.$ ;  $W_{k.n.}$  – наведена критична вологість;  $W_0$  – початкова вологість зерна;  $W_p$  – рівноважна вологість зерна.

Метод узагальненої кривої сушки для щільного шару [7] дозволяє за допомогою однієї експериментальної кривої сушки для конкретного матеріалу розрахунковим шляхом побудувати криву сушіння для цього матеріалу при інших вихідних даних зернового шару (початкової вологості і товщині) і сушильного агента (температурі, вологості, масової швидкості).

Для аналізу розподілу вологості по товщині шару в залежності від часу сушіння, коли зона сушіння знаходиться всередині шару, може бути використано вираз [7]:

$$W = W_p + (W_0 - W_p) \frac{H - X}{H} + \frac{W_0 - W_p}{Hh} \int_0^h z dz,$$

де:  $H$  – товщина зернового шару, м;  $h$  – висота зони сушки, м;  $X$  – координата по товщині зернового шару;  $z$  – відстань в межах шару між кордонами зони сушки.

Величина зони сушки і швидкість її переміщення пропорційні швидкості агента сушіння. В результаті розрахунок вологості по товщині шару стає скрутним, оскільки розрахунковий шар може "зміщуватися" по зоні сушки.

Тому наведене вище вираз для розрахунку стає неприйнятним. Крім цього, для продовження розрахунку сушки з новою швидкістю повітря необхідно запам'ятати поточне значення вологості зерна, яке в подальшому буде використано як  $W_0$ . Це вимагає поділу зернового шару по товщині на елементарні шари.

У роботі [8] були проведені дослідження процесу сушіння зерна в елементарному шарі та отримано криві сушіння і нагрівання зерна при різних параметрах агента сушіння. За нахилу спрямлених кривих сушіння одиничного зерна пшениці були визначені величини коефіцієнтів сушіння в залежності від температури сушильного агента.

Визначення кількості елементарних шарів є важливим моментом. Необхідно відзначити, що існують різні точки зору на визначення елементарного шару. Так елементарним шаром називають шар товщиною в одну зернину. Існує припущення, що елементарним може вважатися шар, швидкість сушіння в якому визначається, головним чином, градієнтом вмісту води. Ці елементарні шари можуть бути об'єднані в групи без шкоди для точності розрахунку.

Щоб модель елементарного шару могла бути використана для моделювання тепло- та вологообміну в товстому шарі, необхідно, щоб в ній було відображено зміна основних рушійних параметрів процесу сушіння:  $T_{\text{вих}}$ ,  $F_{\text{вих}}$ , де  $T_{\text{вих}}$ ,  $F_{\text{вих}}$  – температура і вологість повітря на виході з зернового шару. Крім цього, повинні бути: параметри атмосферного повітря  $T_n$ ,  $F_n$ ; вихідні параметри зернового шару  $W_n$ ,  $\theta_n$ . З урахуванням викладеного запропонована структурна схема елементарного зернового шару, яка представлена на рис. 2.

На рис. 2 видно, що на кожен вихідний параметр  $T_{\text{вих}}$ ,  $F_{\text{вих}}$ ,  $W$ ,  $\theta_3$  виявляється вплив по п'яти каналах.  $T_n$ ,  $F_n$ ,  $W_n$ ,  $\theta_n$ ,  $V_{\text{вх}}$ ,  $W_0$ ,  $F_0$ ,  $V_0$ ,  $T_0$ ,  $\theta_0$  – значення параметрів повітря і зернового шару, при яких визначаються передавальні функції.

Отримані в результаті моделювання значення вологості  $W$  і температури  $\theta_3$  зернового шару стають вхідними для цього ж шару на наступному кроці розрахунку.  $T_{\text{вих}}$ ,  $F_{\text{вих}}$  є вхідними для наступних по ходу руху повітря елементарних шарів зерна. Швидкість повітря на вході в зерновий шар  $V_{\text{вх}}$  може встановлюватися для кожного шару індивідуально.

**Висновки.** Керування процесом активного вентилявання зерна при змінних параметрах атмосферного повітря потребує вдосконалення моделей тепло- і вологообміну в зерновому шарі. В якості вихідної може бути прийнята модель, в якій реалізований ступінчастий підхід розрахунку процесу сушіння зерна в щільному шарі.

Далі планується використання перетворення Лапласа для розв'язання рівнянь тепло- і вологообміну в зерновому шарі, що дозволить отримати передавальні функції, які описують динамічні властивості процесу сушіння, і на базі цих передавальних функцій побудувати модель сушки в елементарному шарі зерна.

Запропонована модель дозволяє розраховувати процеси тепло- і вологообміну в сушильних установках активного вентилявання з радіальною системою розподілення повітря і змінною швидкістю агента сушіння.

#### Список використаних джерел

1. Васильев А.Н. Электротехнология и управление при интенсификации сушки зерна активным вентиляцией. – Ростов-на-Дону. – Терра-Принт. – 2008. – 240 с.
2. Гуляев Г.А., Цыдендоржиев Б.Д. Структура и основные параметры автоматической системы контроля температуры нагрева зерна в шахтной сушилке // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1979. № 8.
3. Андрианов Н.М. Оптимизация зерновых сушилок и их систем управления. Депонированная рукопись № 197-В2005 10.02.2005 г.
4. Hohn H. Getreidelagerung-Trocknung-Belüftung Muhle + Mischfüttertechn, 1992; Jg.129,N.5, - s. 43-55.
5. H. von Reiser. Erfahrungen mit der Belüftungstrocknung. Getreidekonservierung und lagerung. – Beiträge des KTBL – Fochgesprächers am. 10 und 11 Yuni 1986 in Borken Westfalen, – s. 65-77.
6. Jayas D. S.; Alagusundaran K.; Shunmugam G.; Muir W. E.; White N. D.G. Simulated temperatures of stored grain bulks Canad. agr. Engg, 1994; Vol.36,N 4, – p. 239-245
7. Зеленко В.Н. Сушка сельскохозяйственных материалов в плотном слое. Основы теории. – Тверь. Тверское областное книжное издательство. – 1988. – 96 с.
8. Тиц З.Л., Баснакьян Г.А., Анискин В.И. Машины для послеуборочной поточной обработки семян: теория и расчёт машин, технология и автоматизация процессов // Под ред. З.Л.Тиц. – М.: Машиностроение, – 1967.

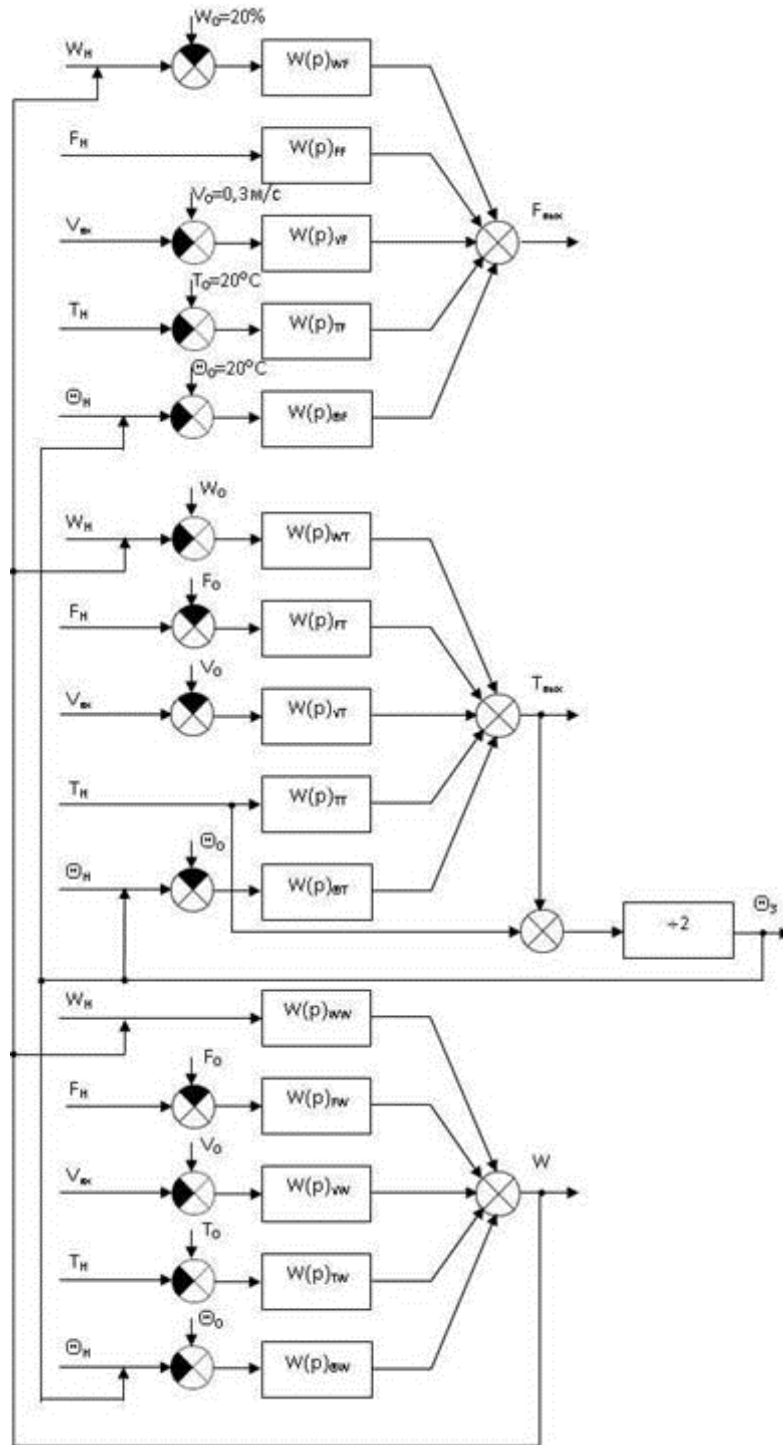


Рис. 2. Модель елементарного шару зерна при його сушінні

УДК 681.5:62-519

*Баліцький Є. А., Герасін О. С.**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ

Сучасним перспективним напрямком робототехніки є створення мобільних роботів, які автономно переміщуються відносно тривалий час по відкритій пересіченій місцевості. Такі роботи дозволить порівняно дешево і без небезпеки для здоров'я людей вирішувати комплекс завдань, пов'язаних із захистом і охороною навколишнього середовища, розвідкою місцевості в інтересах різних організацій. Основні труднощі при цьому полягають у створенні алгоритмічного забезпечення, що дозволяє автоматично керувати рухом роботів, використовуючи інформацію про його стан щодо інерціальної системи координат і перешкод місцевості [1]. Таким чином, актуальність завдання створення системи управління мобільним роботом, з одного боку, визначається потребою мобільних роботів, з іншого - відсутністю працездатних алгоритмів, що дозволяють успішно керувати рухом роботів по пересіченій місцевості в умовах невизначеності та в складних умовах.

Метою даної роботи є розробка інтелектуальної системи дистанційного керування мобільним роботом, яка враховує невизначеності місцевості шляхом аналізу інформації з датчиків.

В роботі використані теоретичні методи дослідження з використанням елементів теорії алгоритмів, дискретної математики, цифрової обчислювальної техніки, експериментальні методи із застосуванням систем віртуального, функціонального і часового моделювання, а також випробування розроблених програмних засобів на основі макету мобільної малогабаритної роботизованої платформи [2]. Крім того, для вирішення поставлених завдань використовуються методи нечіткої логіки, нейронних мереж, системного підходу, теорії диференціальних рівнянь, теорії автоматичного управління, зокрема перетворення Лапласа та засоби визначення показників якості систем управління.

На основі системного аналізу поставлена і формалізована задача управління руху мобільного робота по похилій феромагнітній поверхні, що відрізняється застосуванням для вирішення методу декомпозиції, при цьому вихідна задача замінюється на кілька простих послідовно розв'язуваних, що дозволило в цілому підвищити ефективність системи управління.

Набув подальшого розвитку метод формування бази правил нечіткого регулятора формування траєкторії [3], що відрізняється урахуванням інформації системи технічного зору та динамічних можливостей реального робота для вертикального переміщення, що дозволило підвищити точність об'їзду роботом перешкод місцевості і його переміщення всередині групи перешкод у порівнянні з класичним ПІД-регулятором.

Набула подальшого розвитку методика розробки систем автоматичного управління [4], яка відрізняється урахуванням обмежень на швидкість і відхилення органів управління об'єктів та базується на результатах аналізу впливу на динаміку і стійкість систем цих обмежень, що дозволило мінімізувати відношення обмеження по швидкості до обмеження щодо відхилення.

Розроблені алгоритми і програмне забезпечення інтелектуальної системи управління мобільним роботом. Надані рекомендації щодо вибору конфігурації апаратних засобів для комплектації системи.

**Висновки.** В роботі визначено технічні властивості та характеристики гусеничного мобільного робота, здатного переміщуватися по складним похилим поверхням. Сформульовано основні вимоги до систем управління такими робототехнічними комплексами. Розроблена інтелектуальна система управління мобільним роботом розширює його функціональні можливості, істотно спрощує процеси подолання рельєфу робочої поверхні і покращує можливість успішного проходження маршруту.

### Список використаних джерел

1. Дищенко В.С. Дослідження динаміки мобільного робота для переміщення по вертикальним поверхням, 2006.
2. Системи пересування мобільних роботів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://goo.gl/7CJFZk>.
3. Гостев В.І. Проектування нечітких регуляторів для систем автоматичного управління, 2011.
4. Бесекерський В.А. Теорія систем автоматичного управління / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. М.: "Профессия", 2004.

УДК 681.518.22

Топалов А.М., Ярошенко А.В.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова м. Миколаїв

## КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ ЗАНУРЕННІ ТА СПЛИВАННІ ПЛАВУЧОГО ДОКУ

Проведення докових операцій занурення та спливання плавучим доком є складним технічним завданням, оскільки вони потребують контролю в режимі реального часу експлуатаційних параметрів з високою точністю та своєчасним керуванням виконавчими механізмами [1]. У практиці експлуатації плавучих доків зустрічаються серйозні аварії та аварійні ситуації: затоплення доку, перелом веж, поява гофр на вежах і вм'ятин на стапель-палубі плавучого доку, аварійні крани суден при зануренні доку для їх виведення та ін. [1,2].

Складність сучасних плавучих доків, як технологічних об'єктів, обумовлює необхідність розробки спеціалізованих комп'ютеризованих систем контролю експлуатаційних параметрів плавучого доку, ефективність яких значною мірою залежить від вибору програмно-апаратних засобів та алгоритмічного забезпечення.

Для виконання плавучим доком операцій занурення і спливання було розроблено спеціалізовану комп'ютеризовану систему для контролю експлуатаційних параметрів плавучого доку, що ґрунтується на принципах моніторингу та управління з використанням ПЛК та програмного забезпечення SCADA [3–5]. Причому для підвищення надійності системи при управлінні плавучим доком передбачено апаратне резервування ПЛК.

Комп'ютеризована система контролю експлуатаційних параметрів плавучого доку призначена для вимірювання значень осадки, кутів крену і диференту, стрілок прогину й перегину, управління клінкетами, а також для вимірювання рівня заповнення, тиску, температури й об'єму рідини в баластних танках. Причому комп'ютеризована система побудована з структурою змінної конфігурації.

Дана комп'ютеризована система поділяється на три ієрархічні рівні: нижній рівень (рівень датчиків і виконавчих механізмів), середній рівень (контролерний рівень), верхній рівень (рівень оператора). Комп'ютеризована система працює тільки з параметрами баластного комплексу, остійністю та міцністю плавучого доку і не обробляє дані пов'язані з постановкою судна в док та його подальшого виводу (дані з кільблоків, воріт плавучого доку та ін.).

Функціональна структура комп'ютеризованої системи контролю експлуатаційних параметрів при зануренні та спливанні плавучого доку наведена на рис. 1.1., де прийняті наступні скорочення: ПК – персональний комп'ютер; ПЛК – програмований логічний контролер; ДТ, ДНТ – датчики температури і надлишкового тиску відповідно; ДРР – гідростатичний датчик рівня рідини; ДФРР – датчик фіксованого рівня рідини; ДЗРР – датчик забортного рівня рідини; Н – насос; К – клінкет; В – витратомір.

В баластному комплексі використовують ДРР, ДФРР, ДТ, ДНТ для отримання інформації щодо поточного значення рівня, фіксованого значення рівня, температури рідкого баласту, та надлишкового тиску в баластних танках. Окрім цього трубопровід баластного комплексу укомплектований насосами Н, витратомірами В та клінкетами К, що використовуються для визначення та регулювання витрат рідкого баласту. Зовнішні борти веж плавучого доку оснащені ДЗРР, які використовуються для вимірів осадки, прогину/перегину та кутів нахилу плавучого дока, ДЗРР розташовані рівномірно (три датчика вздовж правого борту та три датчика вздовж лівого борту) якомога ближче до його днища.

Датчики рівня ДЗРР, ДРР в конструктивному виконанні в складі комп'ютеризованої системи становлять собою датчики тиску, а вимірювання поточних значень рівня рідини визначається гідростатичним методом [6]. В свою чергу датчики рівня ДФРР може представляти собою поплавковий датчик.

Вихідні дані з датчиків в залежності від типу сигналів надходять на блок модулів аналогового вводу чи блок модулів дискретного вводу, після чого в цифровому вигляді передаються в основний та резервний ПЛК. ПЛК містять програмний блок розрахунку параметрів корпусу доку, програмний блок розрахунку баластного комплексу доку, а також програмний блок управління виконавчими механізмами (насосами та клінкетами). Дані обробляються в ПЛК з використанням спеціалізованого програмного забезпечення SCADA [3–5], а керуючі сигнали від ПЛК через блок модулів дискретного виводу надходять до виконавчих механізмів плавучого доку. Причому архітектура резервованих контролерів має на увазі наявність двох промислових контролерів ідентичної конфігурації з шиною синхронізації, для синхронного виконання одного і того ж алгоритму. Функції синхронізації підтримуються операційною системою сучасних контролерів. При появі відмови основного ПЛК всі функції управління приймає на себе резервний справний ПЛК.

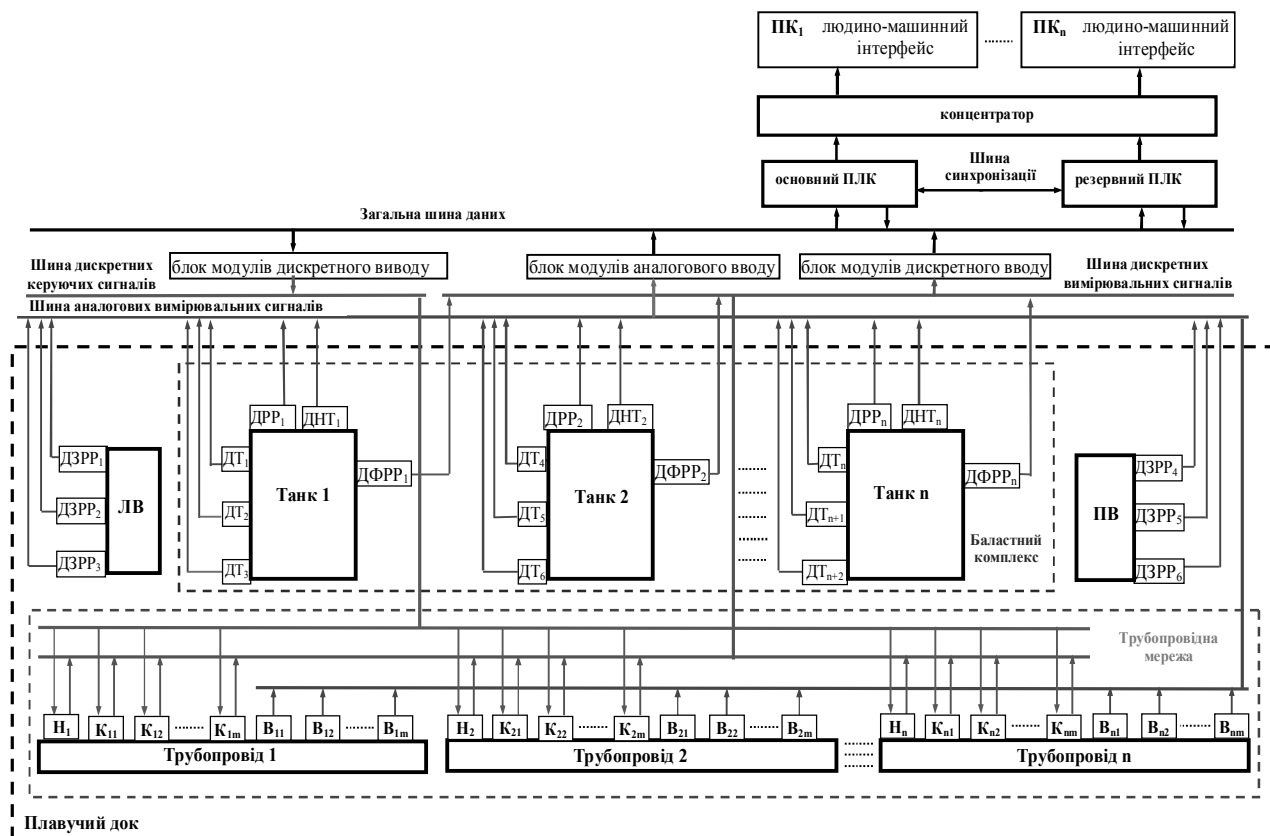


Рис. 1.1. Функціональна структура комп'ютеризованої системи контролю експлуатаційних параметрів при зануренні та спливанні плавучого доку

Взаємозв'язок між ПЛК та рядом комп'ютерів операторів ПК здійснюється через концентратор, що сполучає потоки даних. Загальна інформація про поточні значення експлуатаційних параметрів плавучого доку відображається на екранах комп'ютерів операторів ПК за допомогою спеціалізованого людино-машинного інтерфейсу, що також передбачає керування виконавчими механізмами.

**Висновки.** Запропонована комп'ютеризована система контролю експлуатаційних параметрів при зануренні та спливанні плавучого доку, внаслідок ієрархічної структури комп'ютеризованої системи та резервування ПЛК, дозволяє проводити докові операції спуску та підйому судна з достатньо високою точністю та надійністю.

#### Список використаних джерел

1. Гордеев Б.Н., Каратеев В.И., Чегринцев В.Н., Юрков В.Д. Автоматизированная система управления доковыми операциями. – Внедрения и разработки. Пикад 1/2007. С. 18-20.
2. Павлов П.Я., Рогулин А.Н. Эффективность эксплуатации доков. – Москва: Транспорт, 1987. – 176 с.
3. Топалов А.М. Аналіз комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних та керуючих систем для виконання плавучим доком операцій спуску та підйому судна. Наук.-метод. журн. Серія „Комп'ютерні технології“. – Миколаїв : ЧДУ ім. П. Могили. – 2014. – Вип. 238 – С. 115–121.
4. Андреев Е.Б., Куцевич Н.А., Синенко О. В. SCADA-системы: взгляд изнутри – М. : РТСофт, 2004. – 176 с.
5. Кондратенко Ю.П., Коробко О.В., Козлов О.В. та ін. Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система для контролю рівня і об'єму рідини в резервуарах зі складною геометрією. Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2015. – № 18 (94). – С. 114–121.
6. Жданкин В. Приборы для измерения уровня. Современные технологии автоматизации СТА. – 2002. – № 3. – С. 6–19.



УДК 621.316.761.2

Смагло П.Д.

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

## РОЗРОБКА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ФІЛЬТРОКОМПЕНСУЮЧОГО ПРИСТРОЮ ПРОГНОЗНОГО ТИПУ ТА АЛГОРИТМУ ЇЇ РОБОТИ

Компенсацію реактивних навантажень можна віднести до найбільш ефективних енергозберігаючих технологій в автономних електричних енергосистемах. Можливість не споживати реактивну потужність з мережі, а виробляти її якомога ближче до споживача, і надають компенсуючі пристрої. Споживанню реактивної потужності відповідає індуктивний характер реактивного струму, а генерації – ємнісний.

Висока ефективність компенсуючого пристрою може бути досягнута при значній його потужності. Однак перетворювачі, що входять до складу компенсуючих пристроїв (випрямлячі, інвертори) самі є генератором гармонік струму і напруги та суттєво впливають на автономну мережу. Тому використання фільтрокомпенсуючих пристроїв (ФКП) в автономних мережах має свою специфіку і в значній мірі ускладнює механізм забезпечення симетрії напруг, компенсації гармонік мережі та реактивної потужності. Таким чином, існує необхідність комплексного вирішення зазначеної проблеми, а саме створення ефективних алгоритмів управління фільтрокомпенсуючим пристроєм, що забезпечить їх роботу в умовах автономної суднової мережі. На рис. 1,а показано принципову схему ФКП [1,2].

Структура цифрової системи управління ФКП, що реалізує принцип прогнозного управління, наведена на рис. 1,б. В якості СУ ФКП, доцільно використовувати цифрову СУ на сучасному потужному мікропроцесорі. На структурній схемі не показані аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), оскільки мікропроцесор має власний багатоканальний АЦП або можна використати датчики струму та напруги, що видають вже цифрові значення. ФКП складається з випрямляча, інвертора напруги, реактора, накопичувача, датчиків струму, датчиків напруги.

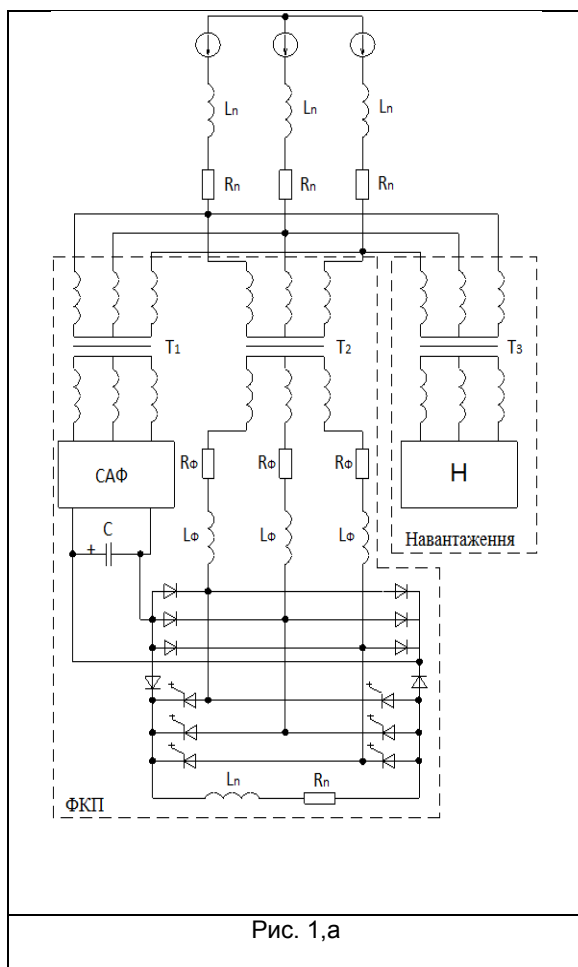


Рис. 1,а

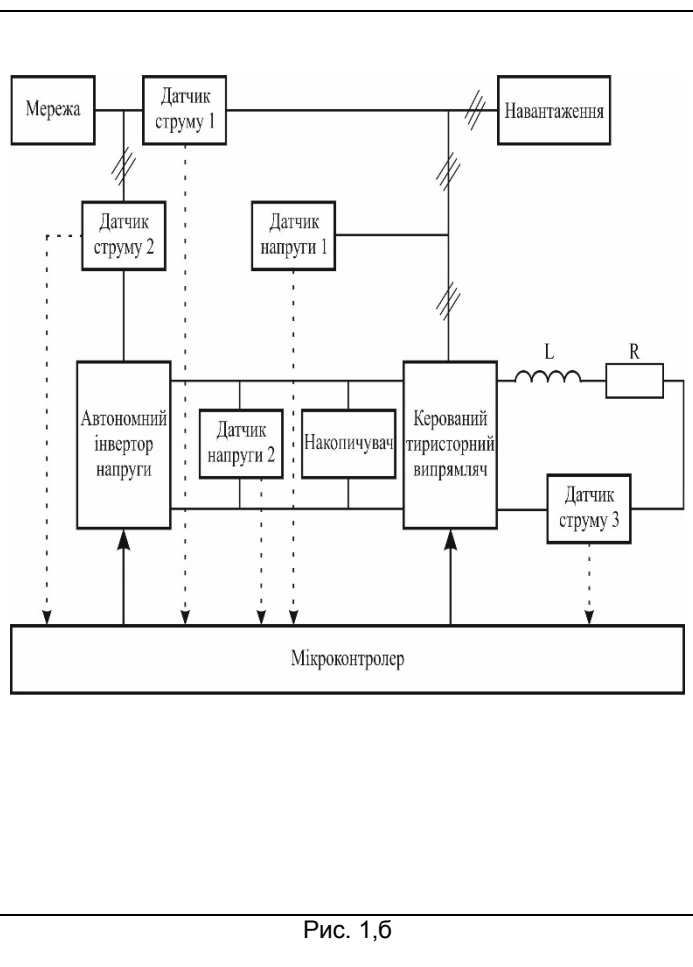


Рис. 1,б

Узагальнений алгоритм управління і регулювання двоканальним ФКП наведено на рис. 2.

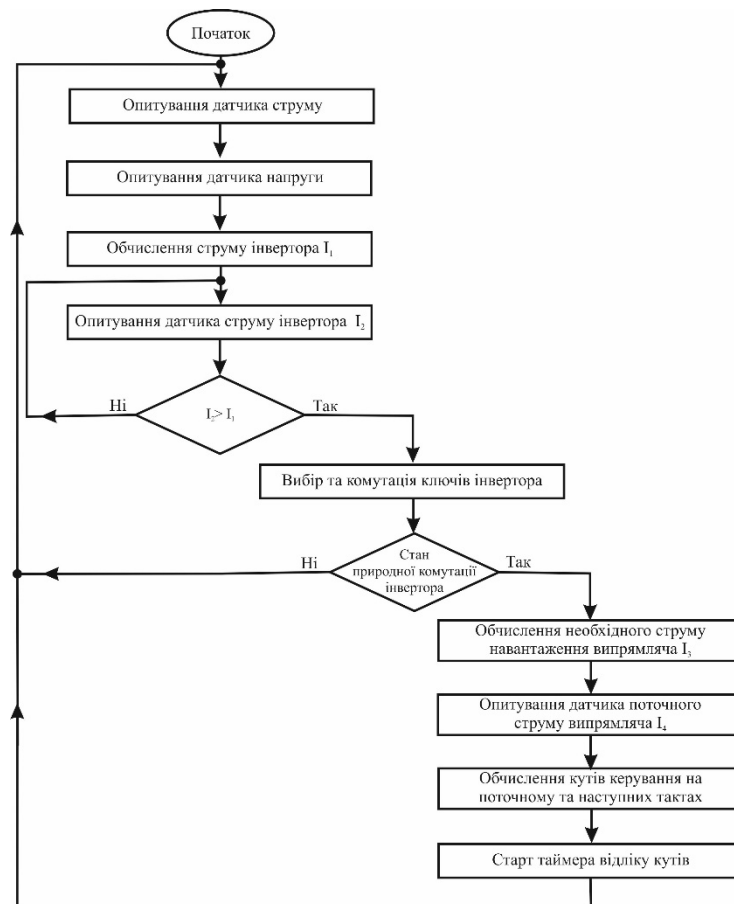


Рис. 2.

Узагальнений алгоритм забезпечує управління двома каналами компенсатора з використанням одного обчислювача. Основний алгоритм роботи мікропроцесору виконує головну роль в цифровій СУ – обчислює керуючі сигнали. На вхід до нього надходять сигнали з датчиків струму та датчиків напруги. На один з портів мікропроцесора поступає сигнал з ДН, який вимірює напругу в мережі. У МП напруга мережі з координат  $a, b, c$  перераховується до координат  $\alpha, \beta$ , за допомогою математичного апарату  $p-q$  теорії потужності. При використанні звичайної теорії потужності вимірювати кут зсуву між струмом та напругою в мережі можна лише при переході їх через нуль. Проте застосування  $p-q$  теорії дозволяє обчислювати реактивну та активну потужності в будь-який момент часу. Це приймає особливо велике значення через необхідність більшість часу працювати із випереджувальними від'ємними кутами керування  $\alpha$  оскільки в більшості випадків навантаження в системі має індуктивний характер. СУ обчислює необхідний кут  $\alpha$  до комутації, що дозволяє компенсувати реактивну потужність на періоді її виникнення, а не на наступному.

**Висновки.** Таким чином, компенсація гармонік випрямляча та зниження рівня реактивної потужності дозволяє значно підвищити ефективність роботи ФКП, а також досягти зростання якості електроенергії на судні в цілому.

#### Список використаних джерел

1. Домнин И.Ф. Полупроводниковые компенсаторы неактивных составляющих полной мощности // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Х., 2008. – 299 с.
2. Домнин И.Ф. Система управления фильтрокомпенсирующим устройством. Технічна електродинаміка. 2004, № 4. С. 25-29.



## УДК 007.52

*Матвієнко С. А.**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова м. Миколаїв***МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ РУХУ МОБІЛЬНОГО ДВОКОЛІСНОГО РОБОТА З ДИФЕРЕНЦІЙНИМ ПРИВОДОМ ПО ГОРИЗОНТАЛЬНІЙ ПЛОЩИНІ**

В даний час мобільні роботи поширені по всьому світу. Вони використовуються в лабораторіях наукових інститутів і університетів, включаються в освітні програми і беруть участь змагання, розробляються і модернізуються на підприємствах для вирішення спеціальних завдань (інформаційної розвідки, перенесення вантажу, роботи в складних умовах), входять в повсякденне життя людини у вигляді побутових та ігрових пристроїв. Але, незважаючи на фундаментальні і прикладні дослідження, завдання з управління ними до кінця не вирішені. Це пов'язано з відмінностями кінематичних схем апаратів, різними умовами руху, а також з необхідністю врахування реальних факторів руху - при побудові строгих математичних моделей. Багато загальноприйняті способи управління колісними системами ґрунтуються тільки на кінематики робота, отримані при цьому рішення породжують динамічні розриви, (наприклад, кутових швидкостей коліс системи).

Синтез закону керування плоским рухом двоколісного робота з диференціальним приводом, що стабілізує його рух по заданому шляху, є типовою завданням для роботи технічних систем на колісній платформі, таких як мобільні роботи, сільськогосподарські машини, вантажні автомобілі, легкові автомобілі з автоматичною системою управління.

Відомі різні підходи до задачі стабілізації руху вздовж заданої кривої. Один з них полягає в перетворенні системи з допомогою заміни координат і перетворення виходів до так званої ланцюгової форми. Ще один підхід полягає в перетворенні системи до нормальної форми і перехід до диференціювання за новою незалежною змінною.

Завдання дослідження динаміки руху мобільного робота і розрахунку управління їм актуальні в зв'язку зі зростаючими вимогами до точності роботи таких систем, необхідністю складання схем управління забезпечують гладкі динамічні руху, необхідністю врахування впливу податливості коліс на рух роботів.

**Мета роботи:** полягає в аналізі руху двоколісного робота по горизонтальній площині для підвищення ефективності функціонування двоколісних мобільних роботів з диференціальним приводом за критеріями точності і швидкодії, поліпшення умов праці і забезпеченні безпеки роботи.

У роботі проводиться аналітичне і чисельне дослідження динаміки і схем управління рухом колісних роботів. Розглядаються моделі з двома незалежно керованими колесами і триколісні апарати. Вибір цього напрямку роботи пов'язаний з прикладними завданнями дослідження колісних роботів, мета яких - створення сучасних інтелектуальних систем, роботизовано мобільні платформи в робота будується схема управління робот з двома незалежно керованими співвісними колесами ("диференціальним" приводом), забезпечує його гладкий динамічний рух. Для цього вводиться і досліджується клас спіральних кривих, які разом з прямою і дугою кола складають алфавіт базових траєкторій руху. Показані переваги побудованої схеми. На основі твердотілого моделювання системами багатьох твердих тіл будується чисельна багато параметрична модель пружного колеса. На базі цієї моделі досліджуються відмінності в русі апаратів на твердому і пружній колесі. Для роботів з двома незалежно керованими колесами досліджується вплив пружності на точність руху по динамічна гладкій і нерівній траєкторії.

**Висновки:** 1. Огляд і аналіз інформації про управління мобільними роботами дозволили виявити основні тенденції розвитку засобів автоматизації, що проявилися в розробці нових способів контролю і управління, ускладнення.

2. Виходячи з мети роботи, що полягає в підвищенні ефективності функціонування двоколісних мобільних роботів, поліпшення умов праці та забезпечення безпеки роботи поставлені наступні основні завдання:

- дослідження технологічних особливостей роботи двоколісних мобільних роботів, аналіз способів і засобів управління мобільними роботами і визначення основних положень автоматизації руху двоколісного мобільного робота в недетермінованих умовах;
- визначення загальної методології побудови системи управління рухом двоколісних мобільного робота в недетермінованих умовах;
- розробка і дослідження математичної моделі двоколісних мобільного робота для визначення його стійкості і керованості, а також синтезу алгоритмів автоматизованого контролю та управління;
- розробка методу і системи управління рухом двоколісних мобільного робота в недетермінованих умовах;
- дослідження системи управління рухом двоколісних мобільного робота, аналіз і видача рекомендацій щодо практичної реалізації отриманих результатів.

**Література**

1. Буданов В.М., Девянин Е.А. О движении колёсных роботов // ПММ. 2003, Т. 67. Вып. 2. С. 244-255.
2. Динамика, управление, моделирование роботов с дифференциальным приводом / В.В. Евграфов, В.Е. Павловский, В.В. Павловский // Теория и системы управления. 2007. №5. С. 171-176.

## УДК 621.39

*Дьяконов А.С., Козлов Е.В.**Научный руководитель: Ихсанов Ш.М.**Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИЕМНИКОВ RTL-SDR В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СИГНАЛОВ МОРСКИХ И РЕЧНЫХ СУДОВ В ТЕХНОЛОГИИ AIS

С появлением вполне доступных по цене приемников RTL-SDR (Real Time Desktop Software Defined Radio) появилась возможность в учебном процессе использовать вместо цифровых моделей реальные сигналы различных информационных систем [1]. Приемник стыкуется с ПК по USB порту и информация передается в пакет MATLAB в реальном времени. Это обеспечивает широкие возможности исследования различных вариантов алгоритмов обработки сигналов и оценку их эффективности. В докладе рассматриваются эти возможности на примере исследования сигналов морских и речных судов в технологии AIS (Automatic Identification System).

Как и воздушные суда, морские суда постоянно передают сигналы со своими данными. При движении судна интервал передачи составляет от 2 до 10 секунд и 3 минуты при стоянии на якоре. В зависимости от класса, суда комплектуются двумя видами передающей аппаратуры. К классу A (AIS A) отнесены суда с валовой вместимостью свыше 300, совершающие международные рейсы, судов валовой вместимостью 500 и более, не совершающих международные рейсы, и все пассажирские суда. Для них выделен канал связи на частоте **161.975 МГц**. Мощность передатчика 12.5 Вт. Другие суда отнесены к классу B (AIS B) и они должны передавать свои сигналы на частоте **162.025 МГц**. Мощность передатчика в пять раз ниже. Скорость передачи всегда 9600 Кбит/с, соответственно, длительность передачи одного символа около 104 мкс.

Для передачи информации используется GMSK модуляция (Gaussian Minimum Shift Keying). Основное сообщение имеет следующую структуру:

- Время разгона (Ramp-up time) — 8 бит;
- Синхроимпульс (Training sequence) — 24 бита;
- Флаг начала сообщения (Start flag) — 8 бит;
- Информация о судне — 168 бит;
- Код CRC — 16 бит;
- Флаг конца сообщения (End flag) — 8 бит;
- Буфер (Buffer) — 24 бита.

Вся длина сообщения составляет 256 бит. Для некоторых типов сообщений общая длина может достигать 512 бит [2,3].

Приведены теоретические и экспериментальные данные по сигналам GMSK, используемым в системе для передачи информации. Исследованы сигналы AIS полученные от судов в акватории Бугского лимана. В качестве основы для исследований использовалась программа с открытым кодом **aisLiveData**, которая решает поставленную задачу (авторские права на программу принадлежат корпорации MathWorks). В работе приводится анализ недостатков алгоритма обнаружения сигналов AIS корпорации MathWorks и предложены конкретные пути их устранения [4].

К сожалению, в аудиториях Института автоматики и электротехники, сигналы крупных судов класса А, постоянно в большом количестве находящихся в акватории Бугского лимана от Черноморского завода судостроительного завода до предприятия «Нибулон», сильно ослабляются городскими застройками, и выделить их на фоне шумов не удастся. Эти корабли очень редко проходят выше по течению в сторону судостроительного завода им. 61 коммунара. Однако, особенно летом, там ходят небольшие прогулочные и прочие суда класса В. Минимальное расстояние до таких судов от здания Института автоматики и электротехники составляет всего около 1 км и это пространство мало застроено. Оказалось, что сигналы таких судов вполне хорошо могут быть декодированы рассмотренными программами. Всего проведено 7 сеансов обнаружения сигналов AIS. Доработанной программой всего выделено 343 сообщения с корректным кодом CRC, тогда как по записям квадратурных каналов штатная программа корпорации MathWorks выделяет всего 101 сообщение. Таким образом, частота обнаружения после предложенных доработок увеличилась более чем в **3 раза**. Максимальная дальность обнаружения составила почти 2 км.

На рисунке 1 на карту нанесены географические координаты судна Nodari Chanturiia в сеансе наблюдения 24-25.07.2018:

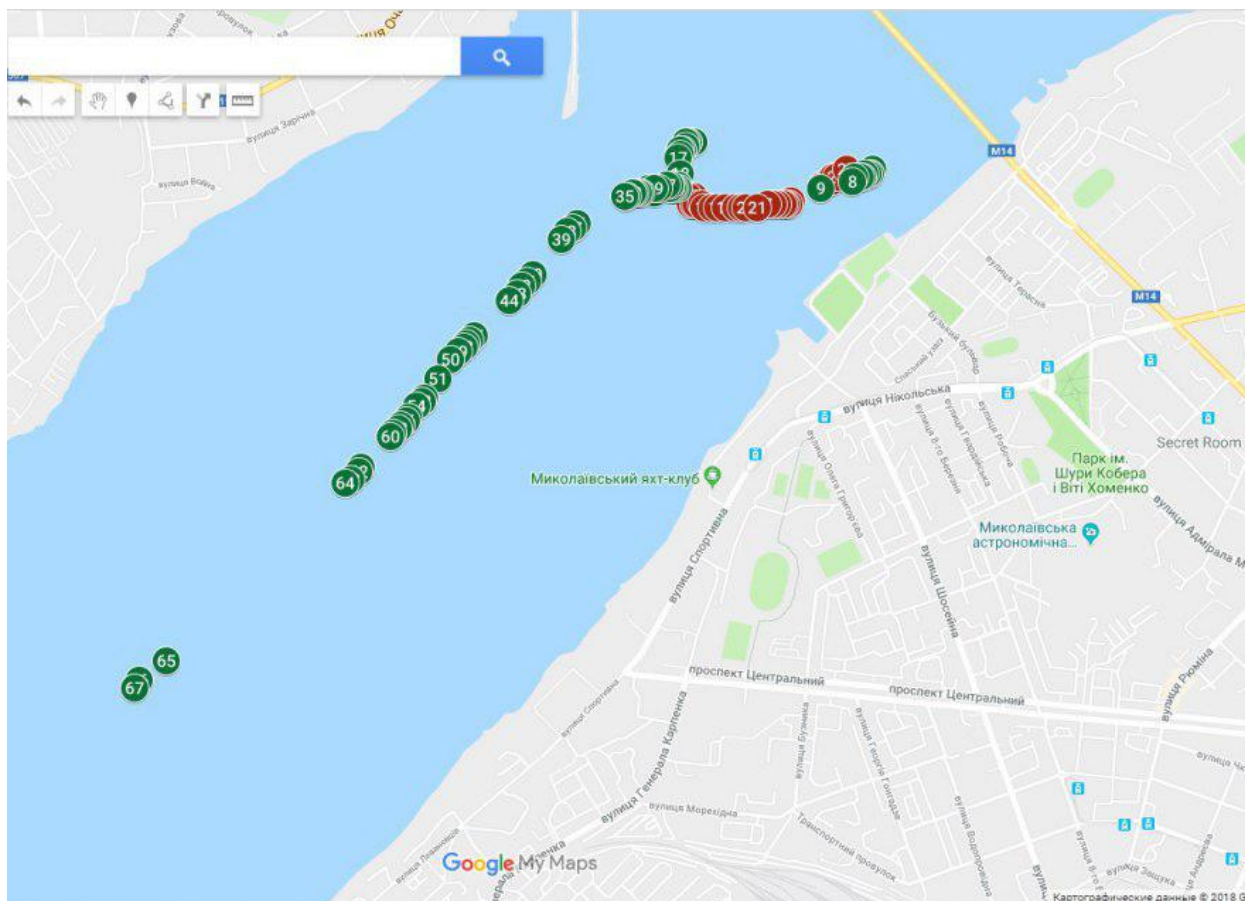


Рис. 1. Переданные судном Nodari Chanturiia координаты в сеансе наблюдения 24-25.07.2018

Здесь красные метки соответствуют полученным данным до выхода из зоны контроля, зеленые – после повторного возвращения. Как видим, судно останавливало движение и некоторое время дрейфовало недалеко от берега.

Все полученные данные подтверждаются информацией американского сайта [www.marinetraffic.com](http://www.marinetraffic.com) для отслеживания движения морских и речных судов. Например, данные сайта по приведенному судну показаны на рис. 2.

В работе также реализована программа, исправляющая по коду CRC 1 бит в полученном двоичном сообщении и экспериментально показано, что это приводит к увеличению выделяемых сообщений.

#### Список использованных источников

1. Robert W. Stewart, Kenneth W. Barlee, Dale S.W. Atkinson, Louise H. Crockett. Software Defined Radio using MATLAB & Simulink and the RTL-SDR. // University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, UK, 2015, 674p.
2. U.S. Department of Homeland Security. Navigation center. Class A AIS position report (messages 1, 2, and 3). [Интернет ресурс]: [www.navcen.uscg.gov/?pageName=AISMessagesA](http://www.navcen.uscg.gov/?pageName=AISMessagesA)
3. U.S. Department of Homeland Security. Navigation center. AIS standard class B equipment position report (message 18). [Интернет ресурс]: [www.navcen.uscg.gov/?pageName=AISMessagesB](http://www.navcen.uscg.gov/?pageName=AISMessagesB)
4. Іхсанов Ш. М., Рябенський В. М., Дзяконов О.С. Дослідження сигналів реальних інформаційних систем з використанням приймачів RTL-SDR : навч. посіб. / Ш. М. Іхсанов, В. М. Рябенський, О.С. Дзяконов. — Миколаїв, 2018. — 185 с.

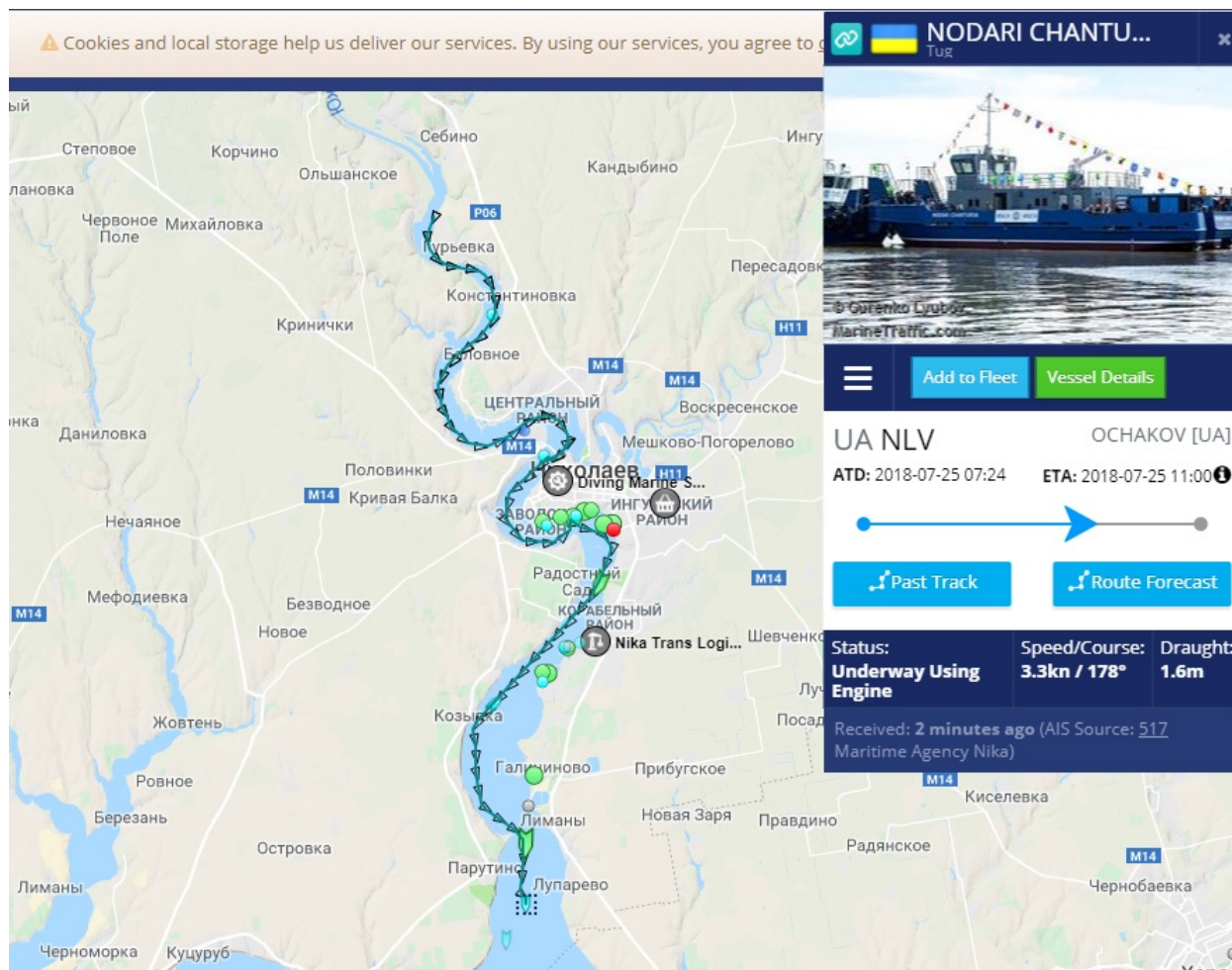


Рис. 3.51. Данні сайту [www.marinetraffic.com](http://www.marinetraffic.com) про судно Nodari Chanturiia (MMSI 272158400) за 24-25.07.2018

### УДК 621.3

Величко О.А., Данько О.Ю., Добровенко О.В.

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

## РОЗРОБКА ДВОХ КООРДИНАТНОГО ЛАЗЕРНОГО ВЕРСТАТА З БЛОКОМ КЕРУВАННЯ НА ПЛАТФОРМІ ARDUINO

Інтенсивне впровадження в практику систем керування технологічними об'єктами на основі мікроконтролерів обмежує деяка складність програмування та створення експериментальних зразків. Розроблені технології ARDUINO, що значно знижують вказану складність, фахівці відносять скоріше до дитячих забав, ніж до серйозних проектів.

Метою роботи є бажання показати, що технології успішно можуть бути використані і для керування складними технологічними об'єктами. Поставлена задача розв'язана на прикладі реалізації системи керування двох координатним лазерним станком, призначеним для декоративної обробки дерев'яних та металевих поверхонь. Функціональна схема системи керування наведена на рис. 1. Принципова схема створена на основі Arduino UNO R3 що виконаний на мікроконтролері ATmega328. Оскільки для приведення в роботу на верстаті використовуються крокові двигуни типу Nema 17, то для забезпечення їх працездатності було вирішено обрати драйвери ULN2003.



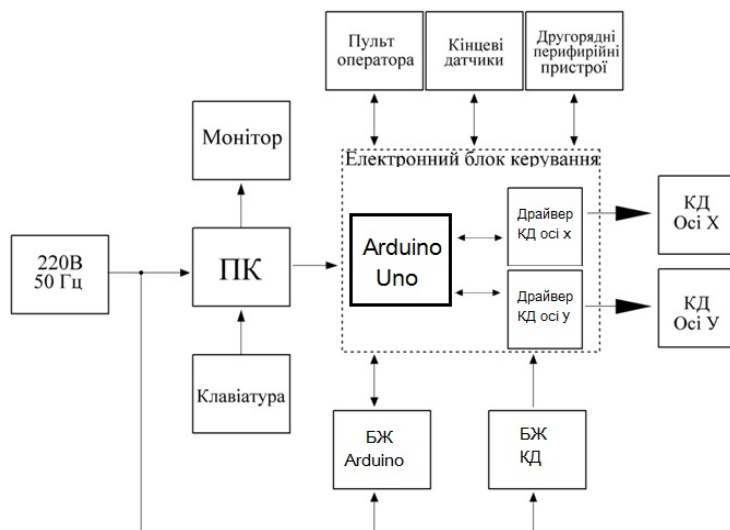


Рис.1.

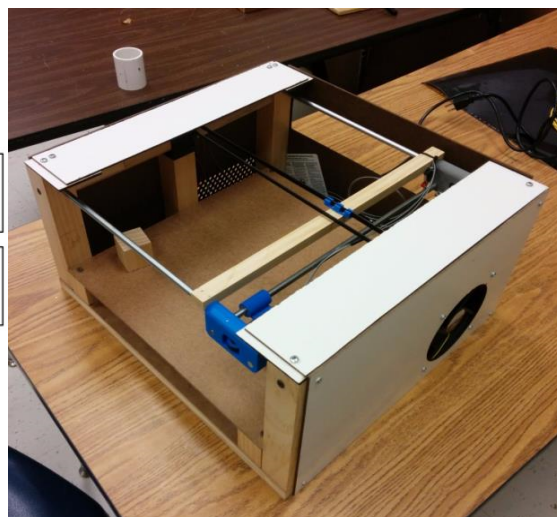


Рис.2.

Програмне забезпечення дозволяє використовувати графічну інформацію з ACAD та COREL –DROW і забезпечує перенесення рисунка з точністю 0.1 мм.

### УДК 621.3

Ківенко О. О., Діденко М. П., Кіценко Р. О.

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

## РОЗРОБКА ПРОСТОГО SSD – УНІВЕРСАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ЛАБОРАТОРІЙ КАФЕДРИ ТЕЕС

Сучасні проблеми в оснащенні навчальних лабораторій кафедр мають негативний вплив на навчальний процес, обумовлений не підготовленістю випускників до практичної роботи, оскільки реальні лабораторні роботи замінюються на практичні заняття. В той же час робота фахівців з електроніки вимагає практичної роботи з сигналами різної форми, частоти, цифровими потоками, які не можуть бути реалізовані на застарілих приладах.

Мета роботи полягає в розробці технології побудови сучасних цифрових приладів - генераторів, що можуть генерувати сигнали різноманітної форми в широкому частотному діапазоні і мати можливість переналагодження для формування сигналів по замовленню

Досягнення мети забезпечується тим, що створений авторами генератор має мікропроцесорне ядро з наявністю зовнішньої пам'яті в яку в цифровому форматі записуються образи різних типів сигналів, які можуть бути зчитаними з різною швидкістю.

Функціональна схема генератора наведена на рис. 1. Розроблений і створений генератор має можливість генерувати 10 типів сигналів, включаючи три типи випадкових сигналів, випадковий аналоговий сигнал типу тепловий шум, а також сигнал типу кардіограма (Рис.2).. Для періодичних сигналів частотний діапазон 1 Гц – 100 кГц з кроком за вибором -1 Гц та 100 Гц. Можливо формування сигналів складних форм. Керування генератором забезпечується за допомогою шести кнопок та двох змінних резисторів.

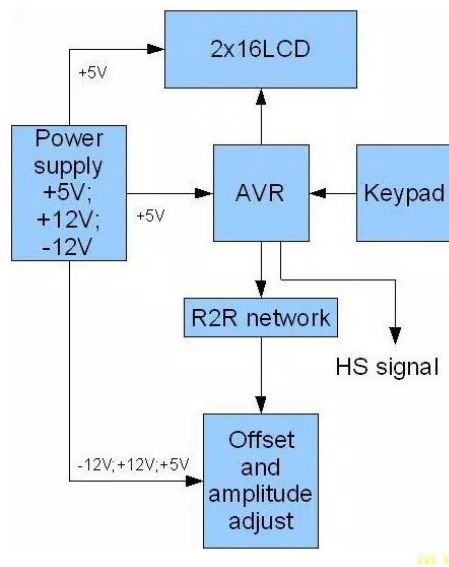


Рис.1



Рис.2.

Вартість деталей розробленого генератора знаходиться в межах 12\$

## СЕКЦІЯ 2. ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ

УДК 621.314.1

Димитров Ю.Ю., Кубов В.И.

Черноморский национальный университет им. Петра Могилы, г. Николаев

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАОТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ИМПУЛЬСНЫХ ПОВЫШАЮЩИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ НАПЯЖЕНИЯ

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Импульсные преобразователи тока и напряжения широко применяются в современных блоках питания электронной аппаратуры, системах управления и питания электропривода, в аппаратуре преобразования для “зеленой энергетики” [1-2], и в ряде других сфер применения. Работа импульсных преобразователей может сопровождаться повышенным уровнем шумов, как акустических, так и электромагнитных. Разработчики борются с нежелательными шумами путем выбора соответствующих режимов работы и установки фильтров. Задача выбора подходящего фильтра существенно усложняется при нерегулярном, непериодическом или хаотическом характере колебаний.

В настоящей работе рассмотрены приемы поиска и анализа хаотических колебаний в импульсных повышающих преобразователях напряжения с привлечением отображения Пуанкаре и бифуркационных диаграмм [3].

**МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** В качестве инструмента моделирования использовался бесплатный открытый пакет LTspice, детально описанный в [4]. Импульсный повышающий преобразователь – Boost Step-Up DC-DC, в простейшем случае строится по схеме рис.1.

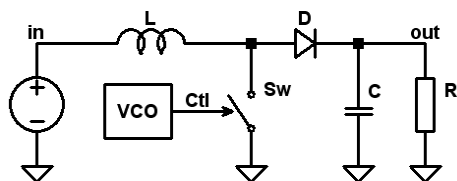


Рис.1. Базовая схема Boost Step-Up DC-DC

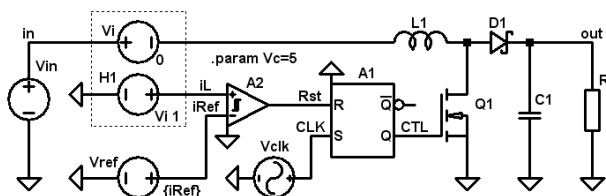


Рис.2. Схема на дискретных элементах.

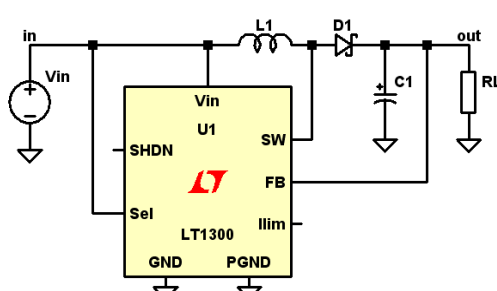


Рис.3. Схема на LT1300

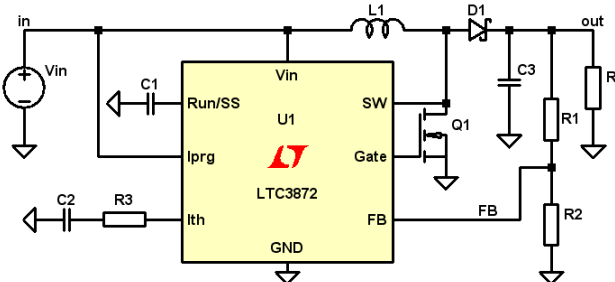


Рис.4. Схема на LTC3872

Основными элементами классической схемы рис.1 являются: источник входного напряжения  $V_{in}$ ; накопительная индуктивность  $L$ ; коммутационный ключ  $Sw$ ; выпрямительный диод  $D$ ; сглаживающая емкость  $C$ ; нагрузка  $R$ ; управляемый генератор импульсов –  $VCO$  (Voltage Control Oscillator). Принцип работы такого преобразователя и приемы его исследования в пакете LTspice детально рассмотрены в [4].

На рис.2-4 показаны варианты конкретных схемотехнических решений подобного преобразователя. Все они имеют общие элементы, а именно: накопительную индуктивность, выпрямительный диод и коммутационный ключ. Эти схемы отличаются, в основном, способом реализации  $VCO$  и обратной связи –  $FB$  (Feed Back), управления этого генератора.

В схеме на дискретных элементах - рис.2, функции  $VCO$  выполняет сборка из компаратора  $A2$ , триггера  $A1$  и генератора импульсов фиксированной частоты  $CLK$ . Обратная связь осуществляется путем сравнения тока индуктивности  $i_L$  с некоторым заданным опорным током  $i_{Ref}$ . Элементы  $V_i$ ,  $H1$  выполняют функцию преобразования тока в напряжение.

В схеме на **LTC3872** - рис.4,  $VCO$ , включая генератор фиксированной опорной частоты, встроены в микросхему, и за пределы микросхемы вынесен коммутационный ключ на полевом транзисторе. В цепях обратной связи контролируется как ток индуктивности, так и выходное напряжение.

В схеме на **LT1300** – рис.3, в микросхему встроены только  $VCO$ , но и коммутационный ключ. В отличие от схемы на **LTC3872**, здесь частота опорного генератора зависит от напряжения питания, что вносит определенные проблемы в анализ колебательных режимов этой схемы.



Параметры элементов схем, режимы питания и нагрузки, как правило, выбираются так, чтобы в схеме не возникали непериодические или хаотические колебания. Вместе с тем, в определенных ситуациях может происходить нарушение регулярного характера колебаний. Выявление таких ситуаций представляет важную практическую задачу. Эту задачу, чаще всего, решают, исследуя поведение схемы при непрерывном изменении одного из параметров схемы. Таким параметром может быть: некоторое пороговое значения напряжения или тока, сопротивление нагрузки, напряжение питания, номинальное значение величины одного из элементов схемы и многое другое.

В качестве примера, на рис.5 показаны осциллограммы токов и напряжений, в привязке к импульсам синхронизации, для различных схем и режимов колебаний.

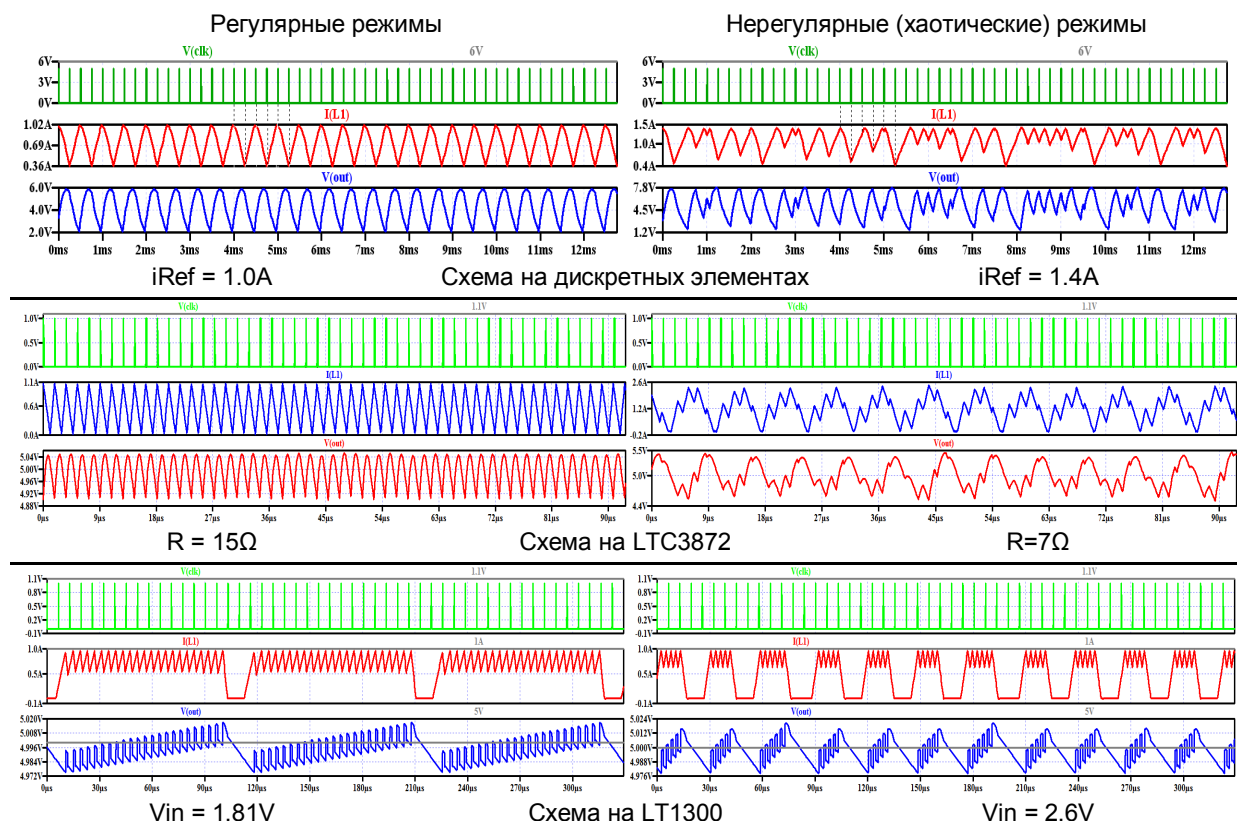


Рис.5. Примеры осциллограмм (сверху вниз): синхронизация, ток индуктивности, выходное напряжение.

Как видно из примеров рис.5, осциллограммы токов и напряжений могут изменяться достаточно причудливым образом, в зависимости от конкретной схемы и ее параметров. Наиболее хаотичный режим демонстрирует схема на дискретных элементах с контролем максимального тока. Чаще всего, именно такая схема и приводится в качестве иллюстрации хаотических колебаний в импульсных преобразователях [1, 2].

Преобразователи на микросхемах LTC3872 и LC1300 ведут себя более регулярно. Нерегулярность проявляется в случайном чередовании похожих, но не одинаковых участков осциллограмм.

Для отображения характера колебаний в зависимости от некоего параметра, причем в виде, более компактном, чем на рис.5, традиционно используются бифуркационные диаграммы.

На рис.6 приведена иллюстрация принципа построения сечения бифуркационной диаграммы для одного конкретного значения параметра.

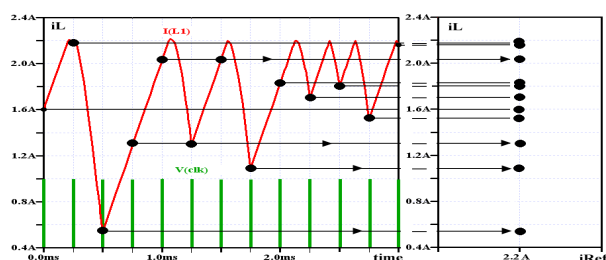


Рис.6. Выборка точек для сечения бифуркационной диаграммы при заданном значении параметра.

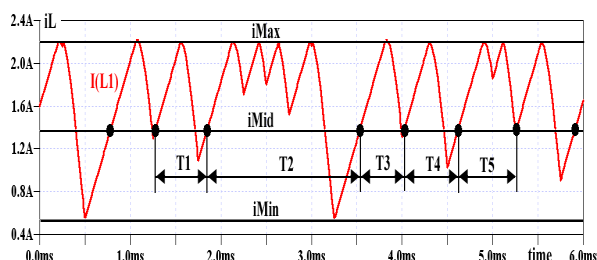


Рис.7. Выборка периодов повторения колебаний по заданному порогу синхронизации.

При построении бифуркационной диаграммы выбираются значения исследуемой величины в точках, равноотстоящих во времени на величину кратную периоду синхронизации. Это, так называемое, сечение Пуанкаре [3].

В случае, когда период синхронизации не известен, или когда этот период меняется в зависимости от неизвестных заранее параметров, диаграмма Пуанкаре “смазывается”, что затрудняет ее последующую интерпретацию. В этом случае, представляется целесообразным дополнить классическую бифуркационную диаграмму для равноотстоящих отсчетов, аналогичной диаграммой для набора условных периодов повторения сигнала. А именно, периодов повторения по некоторому заданному порогу синхронизации, аналогично тому, как это делается в реальном эксперименте при наблюдении сигналов на экране осциллографа. На рис.7 приведен пример выборки периодов повторения по порогу на уровне среднего значения между максимальным и минимальным значением на интервале анализа. В конкретном случае использовалась синхронизация, по так называемому, переднему импульсу тока.

Используемый пакет моделирования электронных схем LTspice [5] содержит набор средств постобработки результатов моделирования – директива Measure – Измерение. С помощью этой директивы можно создать выборку значений исследуемой величины в равноотстоящих точках для построения бифуркационной диаграммы. Мы выбирали значения в 50 точках периода синхронизации в конце интервала моделирования, где по нашим оценкам заканчивались переходные процессы. Эта же директива постобработки использовалась для определения набора периодов повторения. Мы использовали 5 смежных периодов повторения в конце интервала моделирования. Заметим, что условный период повторения в нерегулярных колебаниях, как правило, многократно превышает период синхронизации.

На рис.8 показаны примеры бифуркационных диаграмм для разных схем и разных параметров, используемых в качестве параметра бифуркации.

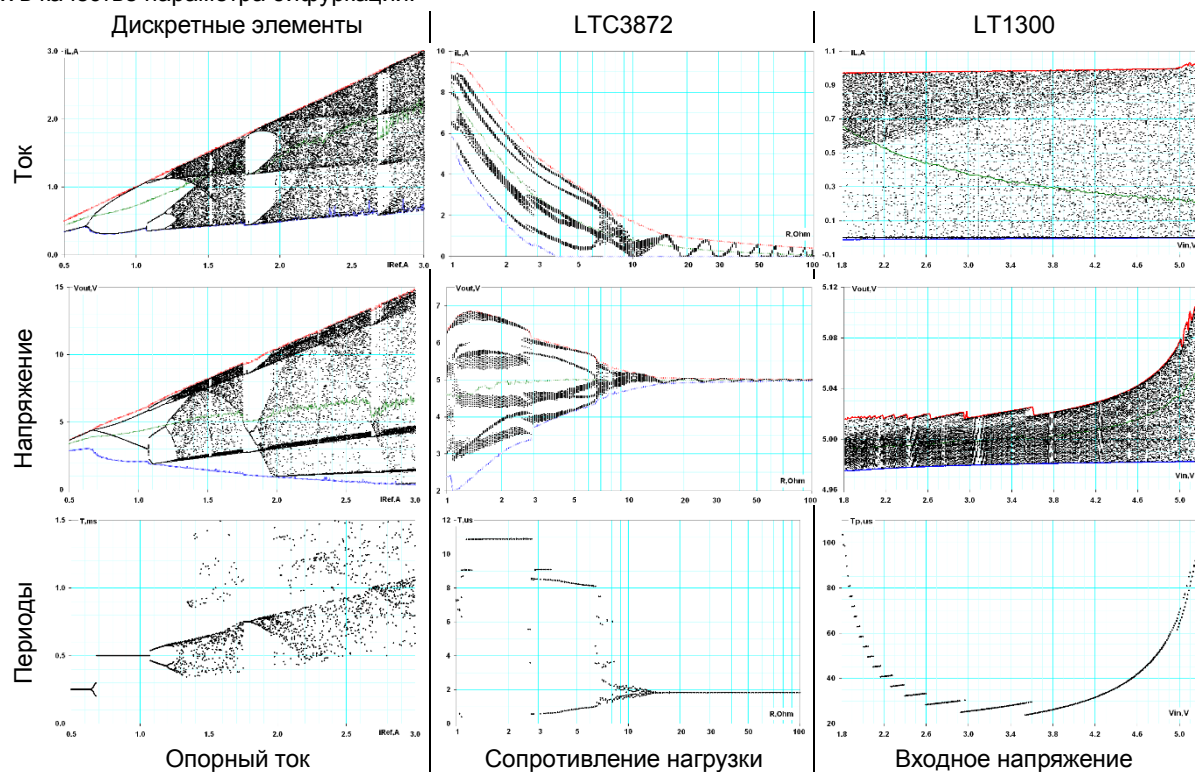


Рис.8. Примеры бифуркационных диаграмм для тока индуктивности, выходного напряжения и условных периодов колебаний.

Здесь представлены мгновенные выборки значений токов и напряжений (верхние строки рис.5) в точках, равноотстоящих по задержке, кратной периоду синхронизации. В нижней строке графика показаны периоды повторения колебаний.

Преобразователь на дискретных элементах с контролем максимального тока демонстрирует классический пример бифуркационной диаграммы. При определенных значениях параметра (в данном случае опорного тока) происходит расщепление точек диаграммы. При этом на некоторых участках возникают колебания с широким спектром периодов (нижняя группа графиков), что соответствует хаотическим колебаниям.

Бифуркационные диаграммы преобразователя на LTC3872 заметно отличаются от классического вида. Области хаотических колебаний заметно уже. Это свидетельствует о рациональном конструктивном решении. Заметим, что для облегчения перевода схемы в режим хаотических колебаний емкость фильтрующего конденсатора была уменьшена относительно рекомендаций разработчика.

Бифуркационные диаграммы самой простой схемы на LT1300 оказались самими сложными. Это связано с тем, что частота встроенного в микросхему генератора сложным образом зависит от напряжения питания, и добиться синхронизации частоты выборок для построения диаграммы Пуанкаре не удастся – выборки тока и напряжения “рассыпаются” на диаграмме. Вместе с тем диаграмма периодов имеет достаточно простой вид. В точках хаоса периоды колебаний расщепляются на две группы. Чередование этих периодов происходит случайным образом.

**ВЫВОДЫ.** При анализе колебаний в импульсных преобразователях с заранее неизвестной частотой генератора внутренней синхронизации, или в ситуациях, когда частота генератора меняется при изменении параметров схемы (параметра бифуркаций), целесообразно строить диаграммы для распределения периодов колебаний. Такие диаграммы позволяют выделить участки хаотических колебаний и принять конструктивные меры для их подавления.

#### Список использованных источников

1. A. Abusorrah et al. Stability of a boost converter feed from photovoltaic source // Solar Energy, 2013, v.98, p.p.458–471
2. Bae et al. Large-Signal Stability Analysis of Solar Array Power System. // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2008, v.44, N.2. p.p.538-546.
3. Мун Ф. Хаотические колебания // М: Мир, 1990, 312с.
4. Кубов В.И. Исследование схем импульсных источников питания в SwCAD/Ltspice // Киев: МК-Пресс, СПб: КОРОНА-ВЕК, 2010, 208с.
5. LTspice // <http://www.analog.com/ru/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>

#### УДК 621.314.2

Егоров Е. К.

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

### ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЗАРЯДУ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ АСИМЕТРИЧНИМ СТРУМОМ

Локальні об'єкти являють собою відносно невеликі електротехнічні комплекси, що включають визначену кількість генераторів і навантажень, які мають або не мають зв'язки з електричною мережею і виконують єдину задачу. Застосування акумуляторних батарей у локальних об'єктах є необхідним у тому випадку, якщо немає доступу до електричної мережі або є можливість використання і накопичення сонячної і вітрової енергії. Найбільш широке застосування, як більш дешеві, одержали свинцеві акумулятори. Вони забезпечують термін служби до 20 років, що обумовлено відповідним конструктивним виконанням. Майже усі свинцеві акумулятори використовують так звану банкову конструкцію. При виготовленні корпусів використовуються: ебоніт, поліпропілен, і т.п. Ці матеріали стійкі до тривалого впливу сірчаної кислоти.

Звичайно кислотні акумуляторні батареї заряджають постійним струмом. Але метод заряду постійним струмом має ряд недоліків таких, як необоротна сульфатація негативних пластин і необхідність у контрольно-тренувальних циклах. В [1] пропонується заряджати кислотні акумуляторні батареї асиметричним струмом. Те, що при заряді кислотних акумуляторних батарей асиметричним струмом необоротна сульфатація негативних пластин не виникає, а отже відпадає необхідність у контрольно-тренувальних циклах, на даний момент являється загальноновизнаним фактом. Такий спосіб заряду забезпечує рівномірний об'ємний розподіл концентрації електроліту, включаючи область пір усередині активної маси, оскільки фронт дифузії не встигає віддалитися на помітну відстань від поверхні електрода при періодичній зміні напрямків струму. У результаті досягається збільшення зарядної ємності  $q_z$  на 10-15%, скорочення часу заряду  $t_z$  на 10-15% (у порівнянні з параметрами, одержуваними при заряді постійним струмом), а також підвищення ресурсу акумуляторної батареї [2, 3]. Але навіть сучасні схеми зарядних пристроїв асиметричним струмом мають невисокий ККД, що стає на заваді до використання асиметричного струму для заряду кислотних акумуляторних батарей, хоча він і має такі суттєві переваги у порівнянні з зарядом постійним струмом.

Старі системи заряду асиметричним током суттєві недоліки: наявність втрат енергії внаслідок формування розрядного імпульсу через резистор та необхідність у сумарному струмі зарядного пристрою рівному 1,1 від струму заряду акумулятора, тому що при заряді резистор, через який формується розрядний імпульс, підключений паралельно акумуляторові. Для усунення цих недоліків пропонується схема, зображена на рис. 1.

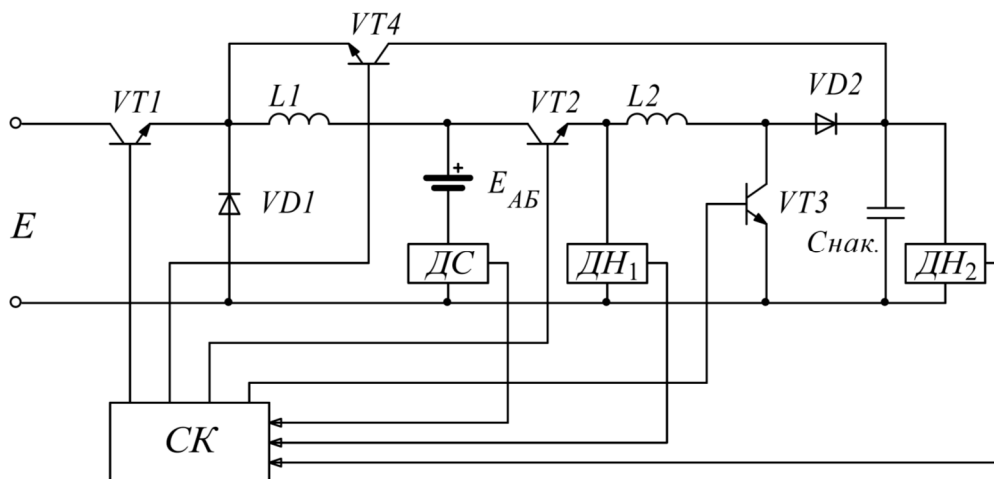


Рис. 1

Схема складається з двох ШІП. Перший – понижуючого типу на елементах  $VT1$ ,  $VD1$ ,  $L1$ ,  $EAБ$ , формує зарядний імпульс. Другий ШІП – підвищуючого типу на елементах  $L2$ ,  $VT3$ ,  $VD2$ ,  $C_{нак.}$ , формує розрядний імпульс, енергія якого зберігається у накопичувальному конденсаторі  $C_{нак.}$ .

Транзистор  $VT2$  використовується для підключення акумуляторної батареї (АБ) до підвищуючого ШІП. При досягненні на накопичувальному конденсаторі  $C_{нак.}$  визначеної напруги його потрібно розрядити на АБ. Розряд накопичувального конденсатора проводиться ШІП понижуючого типу на елементах  $VT4$ ,  $VD1$ ,  $L1$ ,  $EAБ$ , під час формування зарядного імпульсу. Схема містить також систему керування (СК), датчик струму (ДС) і датчики напруги (ДН1, ДН2).

Модель пристрою для заряду акумуляторної батареї асиметричним струмом зображена на рис.2. Модель складається з силової частини та системи керування (СК). До СК входять: *PWM* – підсистема широтно- імпульсного модулятора (ШІМ); *Capacitor Charge Control* – підсистема керування оптимальним зарядом накопичувального конденсатора підвищуючим ШІМ; *Commutation Control* – підсистема керування комутацією транзисторів.

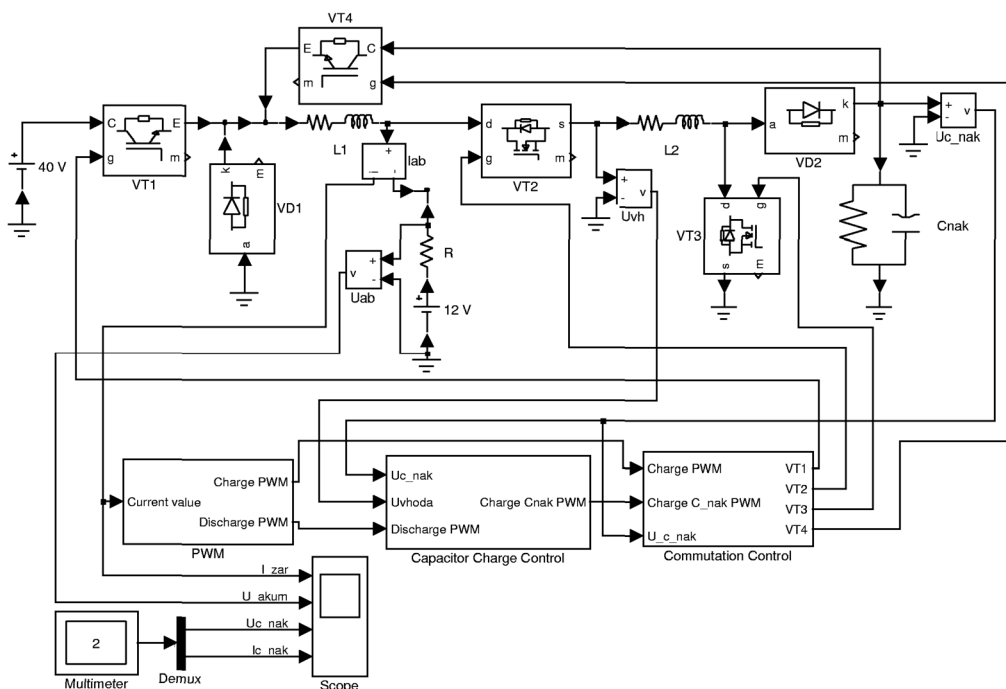


Рис. 2

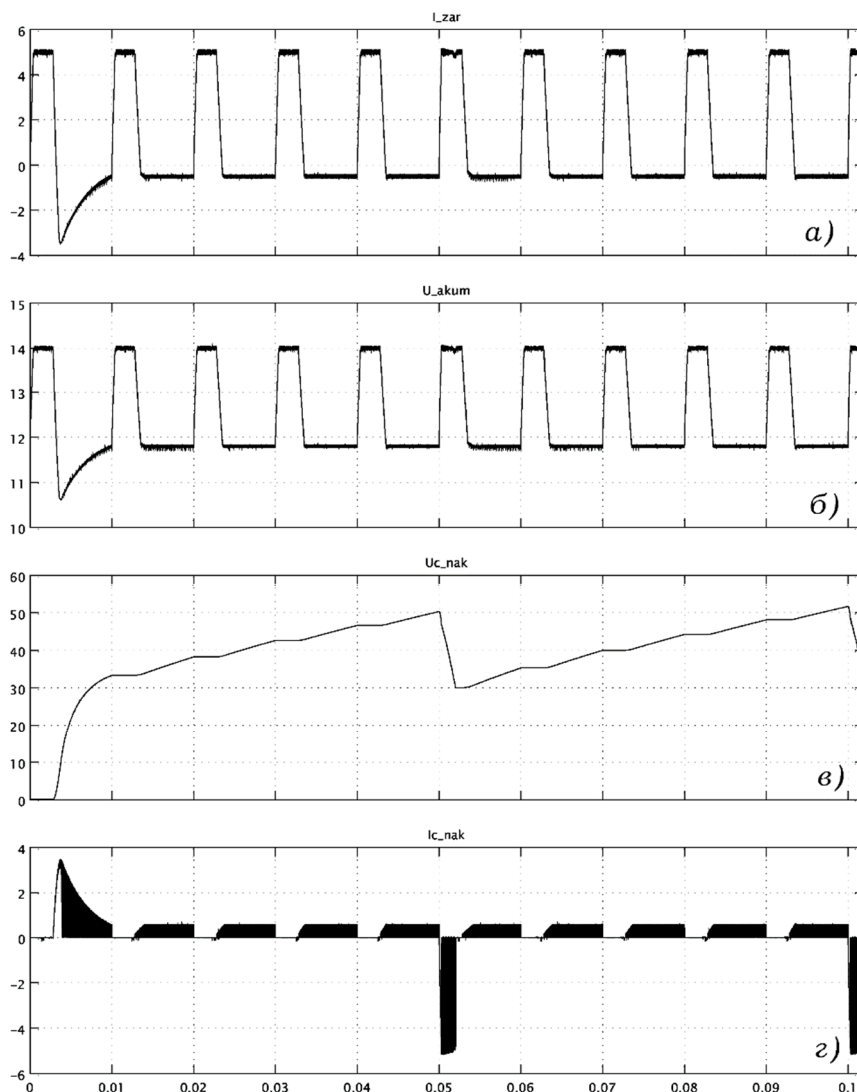


Рис. 3

На рис.3 наведені результати моделювання, струм заряду АБ (а) та напруга на АБ під час її заряду (б), напруга на накопичувальному конденсаторі (в) та струм у ньому (г). Як видно з результатів моделювання, пристрій забезпечує заряд АБ асиметричним струмом необхідних параметрів. При цьому енергія розрядного імпульсу зберігається накопичувальним конденсатором і потім знову передається АБ під час зарядного імпульсу.

**Висновки.** Запропоновано схему пристрою для заряду акумуляторних батарей асиметричним струмом, який має наступні переваги: за рахунок того, що енергія розрядного імпульсу зберігається у накопичувальному конденсаторі, зменшується споживання енергії мережі на 10-12% у порівнянні з відомим пристроєм для заряду акумуляторів асиметричним струмом; використовується імпульсний метод регулювання, ККД якого, як правило, перевищує 80 – 90%. Дослідження розробленої математичної моделі підтверджують працездатність пристрою заряду.

#### Список використаних джерел

1. Батарейки и аккумуляторы: Для широкого круга читателей / В. С. Лаврус (ред.). — К.: Наука и техника, 1995. — 47с.: ил. — (Информационное издание; Вып.1).
2. Синдеев Игорь Михайлович. Электроснабжение летательных аппаратов: Учебник для вузов гражд. авиации / И. М. Синдеев. — М.: Транспорт, 1982. — 272 с.: ил.; 22 см.
3. Накопители энергии: Учеб. Пособие для вузов / Д. А. Бут, Б. Л. Алиевский, С. Р. Мизюрин, П. В. Васюкевич; Под ред. Д. А. Бута.—М.: Энергоатомиздат, 1991.—400 с.: ил.
4. Перетворювальна техніка. Підручник. Ч. 2 / Ю. П. Гончаров, О. В. Будьонний, В. Г. Морозов, М. В. Панасенко, В. Я. Ромашко, В. С. Руденко. За ред. В. С. Руденка. — Харків: Фоліо, 2000. — 360 с.

## УДК 621.3.082.62

Свердлик К.В., Кириченко О.С.

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

ВПЛИВ ТОВЩИНИ НАПІВПРОВІДНИКІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ  
ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО МОДУЛЯ

В роботі досліджено вплив товщини напівпровідників на ефективність роботи термоелектричного модуля. Зазначений вплив досліджувався шляхом проведення порівняльного аналізу результатів виконаних чисельно розрахунків двох термоелектричних модулів, в яких використано однаковий об'єм напівпровідникового матеріалу. При цьому товщина напівпровідників в другому термоелектричному модулі була в 2 рази менша ніж в першому, а товщина з'єднувальних контактних пластин залишалась сталою. Розробку математичних моделей і проведення чисельного розрахунку термоелектричних модулів зручно здійснити з використанням САПР [1, 3, 4].

Для опису термоелектричних процесів використовується потужний математичний апарат у вигляді системи диференціальних рівнянь. В загальному випадку основні рівняння для термоелектричних, термомагнітних і гальванотермомагнітних явищ щодо процесів розповсюдження тепла та електрики в кристалах [1]:

$$\left. \begin{aligned} E_i^* &= \rho_{ik} j_k + \alpha_{im} \frac{\partial T}{\partial x_m}, \\ q_l &= T \alpha_{kl} j_k - \chi_{lm} \frac{\partial T}{\partial x_m} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де  $E_i^* = -\frac{1}{e} \nabla_i \bar{\mu}$  – компонента напруженості електричного поля,  $\rho_{ik}$  – компонента тензора питомого електроопору,  $\alpha_{kl}$  – компонента тензора термоЕРС,  $q_l$  – компонента вектора густини теплового потоку,  $j_k$  – компонента вектора густини електричного струму,  $\chi_{lm}$  – компонента тензора теплопровідності,  $\bar{\mu}$  – електрохімічний потенціал носіїв струму,  $e$  – заряд носіїв струму,  $x_m$  – декартові координати, індекси  $i, k, l, m$  пробігають значення 1, 2, 3, причому по двічі зустрічним індексам ведеться сумування.

В неізотермічному неоднорідному або анізотропному середовищі при наявності градієнта температури напруженість електричного поля  $E_i^*$  згідно першому рівнянню (1) містить не тільки омичну складову  $\rho_{ik} j_k$ , але також напруженість поля сторонніх сил неелектричної природи

$$E_i^* = \alpha_{im} \frac{\partial T}{\partial x_m}, \quad (2)$$

що називається термоелектричним полем.

ТермоЕРС в замкнутом контурі  $C$  згідно загальному визначенню ЕРС може бути представлена в вигляді:

$$E = \oint_C E_i^* dl = \oint_C \alpha_{im} \frac{\partial T}{\partial x_m} dx_i. \quad (3)$$

Кінцево-елементні і фізичні моделі першого та другого термоелектричних модулів представлено на рис. 1. Кінцево-елементна модель першого термоелектричного модуля (рис. 1, а) містить 7133 вузли та 1218 кінцевих елементів, а кінцево-елементна модель другого термоелектричного модуля (рис. 1, б) містить 5356 вузлів та 838 кінцевих елементів. Фізична модель першого (рис. 1, в) та другого (рис. 1, г) термоелектричного модулів складається з трьох з'єднувальних контактних мідних пластин однакової товщини 0,5 мм та двох напівпровідників Р- та N-типу однакового об'єму 8 мм<sup>3</sup>. Слід відмітити, що об'єм всіх напівпровідників Р- та N-типу в першому та другому термоелектричному модулі однаковий, при цьому товщина напівпровідників Р- та N-типу в другому термоелектричному модулі зменшена в 2 рази до 1 мм порівняно з товщиною напівпровідників першого термоелектричного модуля.

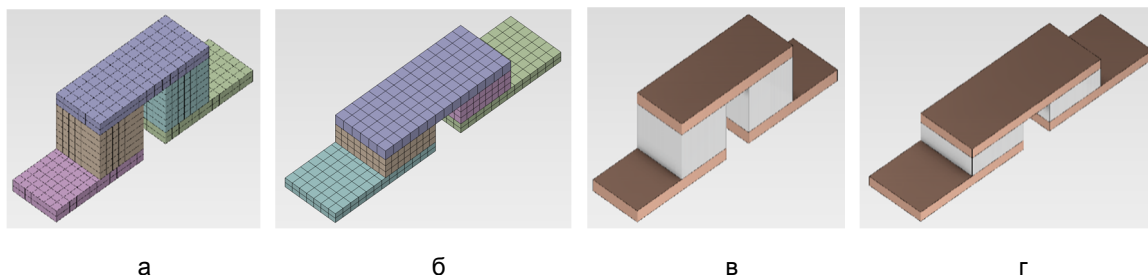


Рис. 1



Результати розрахунку двох термоелектричних модулів з різною товщиною напівпровідникового матеріалу при рівному в обох випадках об'ємі представлено на рис. 2 і рис. 3. При проведенні розрахунків враховано рекомендації, що містяться в роботах [2-4].

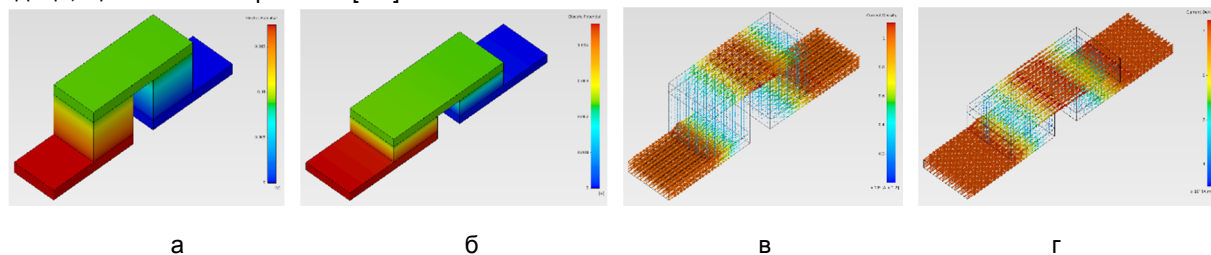


Рис. 2

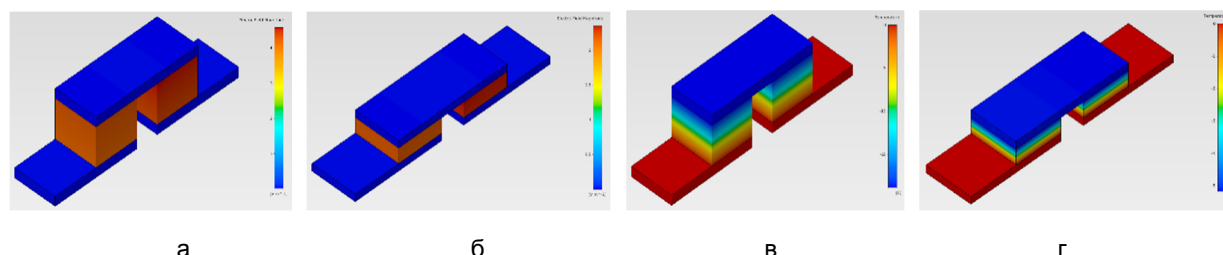


Рис. 3

Електричний потенціал першого термоелектричного модуля (рис. 2, а) розподілений в діапазоні від 0 до 0,017 В, а електричний потенціал другого термоелектричного модуля (рис. 2, б) розподілений в діапазоні від 0 до 0,005 В. Отже, при зменшенні товщини напівпровідникового матеріалу більший електричний потенціал зменшується.

Густина струму першого термоелектричного модуля (рис. 2, в) розподілена нерівномірно з максимальним значенням  $1,1 \cdot 10^6$  А/м<sup>2</sup>, а густина струму другого термоелектричного модуля (рис. 2, г) розподілена, також, нерівномірно з максимальним значенням  $7,5 \cdot 10^5$  А/м<sup>2</sup>.

Напруженість електричного поля першого (рис. 3, а) та другого (рис. 3, б) термоелектричного модуля набуває максимального значення в напівпровідниках і становить відповідно 4,6 В/м та 2,3 В/м. Отже, густина струму в другому випадку менша.

Різниця температур між нагрітою та охолодженою сторонами першого (рис. 3, в) та другого (рис. 3, г) термоелектричного модуля становить відповідно 18,9 °С та 5,2 °С.

Таким чином, зменшення в 2 рази товщини напівпровідникового матеріалу в другому термоелектричному модулі при збереженні рівності об'ємів напівпровідникового матеріалу та товщини контактних пластин як і в першому термоелектричному модулі при однаковій силі струму 1 А в обох випадках призводить до зменшення ефективності роботи термоелектричного модуля. При цьому електричний потенціал зменшується в 3,4 рази, густина струму зменшується в 1,47 рази, напруженість електричного поля зменшується в 2 рази, а різниця температур на протилежних сторонах термоелектричного модуля зменшується в 3,6 рази.

**Висновки.** В роботі досліджено вплив товщини напівпровідників на ефективність роботи термоелектричного модуля. Порівняльний аналіз проведено для виконаних чисельно розрахунків з використанням САПР. Встановлено, що зменшення товщини напівпровідників в 2 рази в другому термоелектричному модулі при збереженні рівності об'ємів напівпровідникового матеріалу та товщини контактних пластин як і в першому термоелектричному модулі при однаковій силі струму 1 А в обох випадках призводить до зменшення ефективності роботи термоелектричного модуля. При цьому електричний потенціал зменшується в 3,4 рази, густина струму зменшується в 1,47 рази, напруженість електричного поля зменшується в 2 рази, а різниця температур на протилежних сторонах термоелектричного модуля зменшується в 3,6 рази. Отже, в зв'язку зі значним зниженням ефективності роботи термоелектричних модулів при зменшенні товщини напівпровідників рекомендується врахувати даний факт при розробці конструктивно нових термоелектричних модулів.

#### Список використаних джерел

1. Анатычук Л.И. Термoeлементы и термоэлектрические устройства: Справочник [Текст] / Л.И. Анатычук. – Киев: Наукова думка, 1979. – 768 с.
2. Кириченко О.С. Електротепловий аналіз елементів навчально-дослідного стенду електротехнічної лабораторії [Текст] / О.С. Кириченко, І.М. Сидорика, Д.Д. Марченко // Вісник аграрної науки Причорномор'я: науково-теоретичний фаховий журнал. Миколаїв: МНАУ, 2017. – Вип. 4 (96). – С. 168-176.

3. Теорія та практика формування професійних компетентностей фахівців аграрної галузі в умовах єдиного інформаційно-освітнього університетського простору: колективна монографія [Текст] / за загальною редакцією д-ра пед. наук О. М. Самойленко та канд. пед. наук І. В. Бацуровської. – Миколаїв: ФОП Швець В.М., 2017. – 414 с.

4. Кулон Жан-Луї. САПР в електротехніці [Текст] / Жан Луї Кулон, Жан-Клод Сабоннадьєр. – М.: Мир, 1988. – 208 с.

УДК 621.314.621

Гратилю С. О.

Національний Університет Кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

## РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОГО ФІЛЬТРОКОМПЕНСУЮЧОГО ПРИСТРОЮ З ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ РЕАКТОРНОГО КОМПЕНСАТОРА

Розглянуті напрямки удосконалення призначеного для автономної електроенергетичної системи (ЕЕС) з напівпровідниковими перетворювачами (НП) керованого фільтрокомпенсуючого пристрою (КФКП), який містить резонансний LC-фільтр (РФ) і реакторний компенсатор (РК) з широтно-імпульсним регулюванням (ШІР). Встановлені умови узгодження частотних характеристик ЕЕС зі спектрами гармонік, генерованих у мережу живлення як НП, так і РК. Доведені можливість і доцільність використання запропонованої удосконаленої структури КФКП, в якій основний РФ є також перешкодозахисним по відношенню до РК з ШІР. Теоретичні висновки підтверджені модельним експериментом. Бібл. 5, табл. 1, рис. 8.

Ключові слова: керований фільтрокомпенсуючий пристрій, реакторний компенсатор з широтно-імпульсним регулюванням, коефіцієнт несинусоїдальності, модельний експеримент.

**Мета:** забезпечення якості електроенергії (ЯЕ) та умовної електромагнітної сумісності (ЕМС) шляхом удосконалення структури та принципів управління керованими фільтрокомпенсуючими пристроями (КФКП), використання швидкодіючого реакторного компенсатора (РК), а також узгодження частотних характеристик ЕЕС з спектрами гармонік, генерованих, як НП, так і РК.

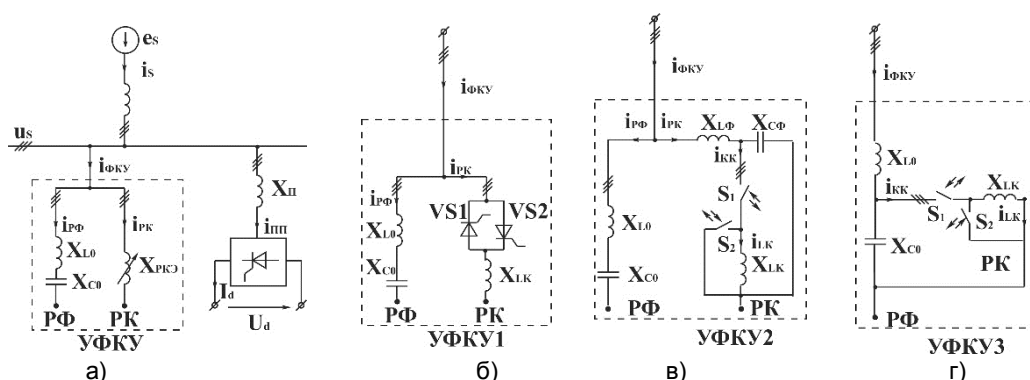


Рис. 1 Структура автономної ЕЕС з НП і КФКП:

а) узагальнена схема; б) КФКП1 – з фазовим регулюванням РК; в) КФКП2 – з широтно-імпульсним регулюванням РК і власним перешкодозахисним фільтром; г) КФКП3 – з широтно-імпульсним регулюванням РК і використанням РФ як перешкодозахисного

Рис.1 продемонстровано схеми КФКП пристроїв, з різним підходом до реалізації завдання. Схеми розташовані у порядку релевантної моделі. З наведеного широкого використання набула схема РК з фазовим регулюванням на основі паралельно-зустрічного включення одноопераційних тиристорів (КФКП1 на рис. 1, б). Основним недоліком цієї схеми є генерація низькочастотних гармонік в живлячу мережу, а також вагомий час затримки регулювання, яке складає половину періоду мережі  $T/2 = \pi/\omega$ .

Вказаних недоліків позбавлений швидкодіючий реакторний компенсатор з широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) на високій частоті (рис. 1, в, г).

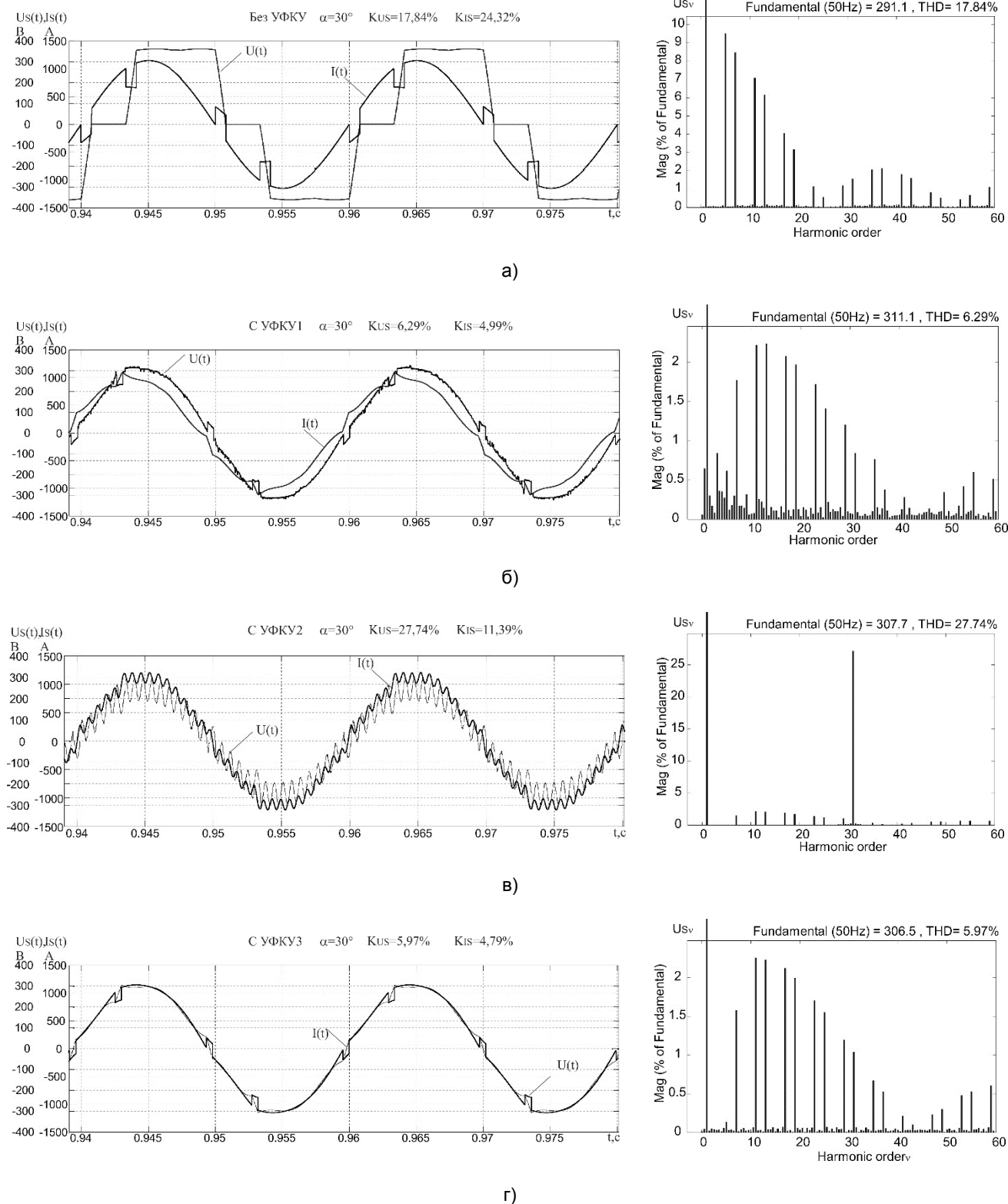


Рис.2 Результати моделювання ЕЭС з НП: а) без ФПК; б) ФПК1 (фазове регулювання РК); в) ФПК2 (ШІР з окремим ФНЧ для РК); г) ФПК3 (ШІР з використанням РФ в якості ФНЧ для РК)

Як можна бачити з порівнянь, КФКПЗ видає найкращі показники.

**Висновки:** Запропоновано схемотехнічне рішення та доказано доцільне використання РК у схемах автономних ЕЕС. Розглянуть КФКП забезпечують практично повну компенсацію реактивної потужності, тобто усунення фазового зсуву основних гармонік напруги мережі і використаної напруги.

Результати моделювання підтверджують справедливості отриманих умов узгодження частотних характеристик системи з спектрами гармонік НП і РК, у відповідності з якими найбільш ефективним є варіант удоскона-

леного КФКПЗ, в якому РК з ШІР підключається до точки з'єднання реактора і конденсатора РФ. В цьому випадку відпадає необхідність використання окремого перешкодозахисного фільтра, оскільки гілка з опором  $X_{L0}$  і  $X_{C0}$  одночасно виконує функції як резонансного фільтра гармонік, генерованих НП так і Г-подібного фільтра низьких частот для гармонік, генерованих РК з ШІР.

Ця схема, будучи приблизно однаковою по складності з КФКП1 (з фазовим регулюванням РК), на 4% перевершує останню по ефективності зниження несинусоїдальності напруги і струму СГ (компенсації потужності спотворення).

#### Список використаних джерел

1. Zhuk O., Zhuk D., Stepenko S. An improvement of compensators of complete power non-active components in autonomous electric power systems //2nd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), Kyiv, 2016, pp.1-5. Scopus.
2. Жук А.К., Жук Д.А., Криворучко Д.В., Степенко С.А. Управляемое фильтрокомпенсирующее устройство для автономной электроэнергетической системы с мощными преобразователями// Технічна електродинаміка. – 2016. – №4. – С. 32–34. Scopus.
3. Zhuk O., Zhuk D., Kryvoruchko D., D'yakonov O. Control of Improved Hybrid power Line Conditioner // 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO).Conference Proceedings, 2018, Kyiv, Ukraine. IEEE Catalog Number: CFP1805U-USB, pp. 605-610. Scopus.
4. Жук О.К., Жук Д.О., Криворучко Д.В. Несинусоїдальність напруги в автономній електроенергетичній системі з керованим фільтрокомпенсуючим пристроєм// Технічна електродинаміка. – 2018. – № . – С. . Scopus.
5. Жук А.К.,Жук Д.А., Криворучко Д.В. Фильтрокомпенсирующее устройство с широтно-импульсным регулированием реакторного компенсатора// Електротехніка і електромеханіка. – 2016. – №4(2). – С. 59–66. Index Copernicus.

## СЕКЦІЯ 3. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

УДК 621.3

Дун Сяофей

Научный руководитель к.т.н., доцент Шарейко Дмитрий Юрьевич.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

### НАСТРОЙКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ДВИГАТЕЛЕМ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ

#### Преимущества двигателей с двойным питанием

- Двигатель с двойным питанием используется в качестве двигателя с переменной частотой для электропривода большой мощности. Поскольку источник питания с переменной частотой вращения на стороне ротора, используемый системой с двумя двигателями, только регулирует энергию скольжения, а скольжение мало, то и диапазон регулирования скоростей мал. Преобразуемая энергия относительно мала по сравнению с мощностью всего двигателя. В сравнении с системой с прямым преобразованием частоты на стороне статора, мощность требуемого инвертора значительно снижается. Поэтому можно значительно снизить стоимость системы контроля скорости, мощность инверторного устройства и значительно снизить гармоническое загрязнение электросети. В то же время коэффициент мощности на стороне статора эффективно регулируется, так что двигатель может работать под высоким коэффициентом мощности и даже посылать реактивную мощность в сеть, что улучшает стабильность работы всей электрической сети и эффективность системы управления.

#### Недостаток двигателей с двойным питанием

- Ограниченный диапазон регулировки по скорости и необходимость применения специальных устройств для пуска электропривода, что накладывает ограничение на рациональные области их применения

Проведенный анализ позволил построить общую структуру электропривода на основании которой можно осуществлять параметрический синтез систем управления (рис. 1, 2).

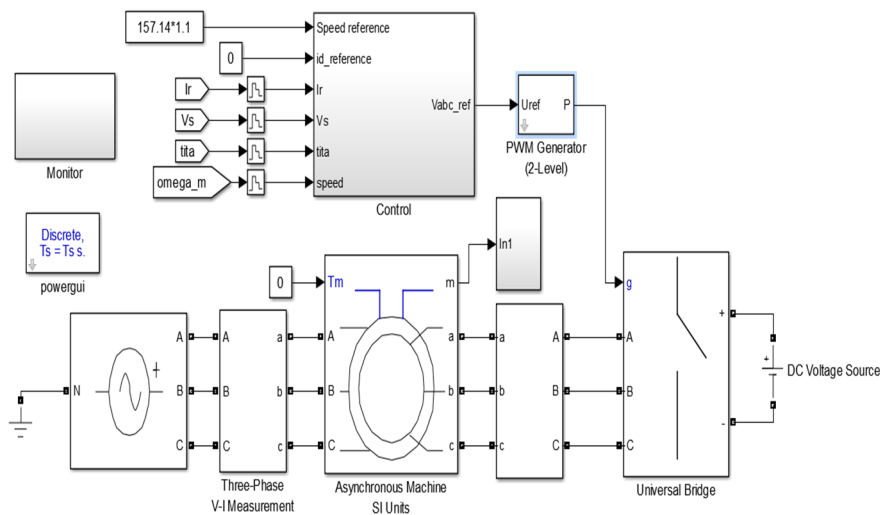


Рис.1. Система управления асинхронным электроприводом с двигателем двойного питания

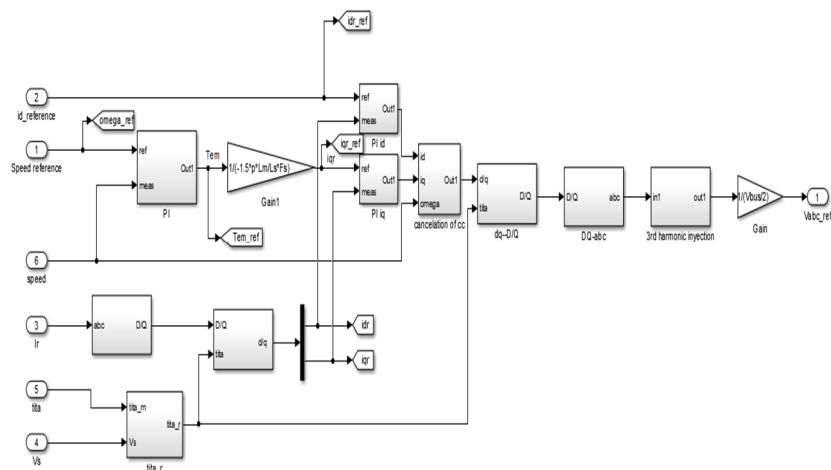


Рис.2. Структурная схема системы управления

### Результаты расчетов

При помощи программных оболочек Math Lab получены результаты расчетов (рис.3) для системы управления двигателем двойного питания путем изменения вектора тока.

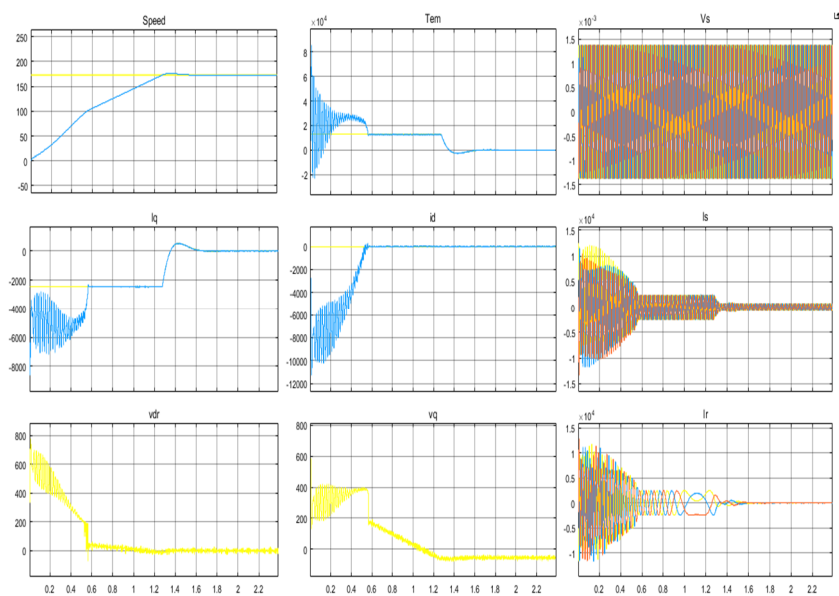


Рис.3. Результаты моделирования с двигателям двойного питания

### Вывод

- С помощью анализа электроприводов с двигателями двойного питания и численного эксперимента получены результаты которые могут использоваться, как практические советы по наладке этих электроприводов.

### Литература:

- Підвищення ефективності електроприводів з двигунами подвійного живлення/ Бугрим.Л.И. ,Шарейко Д.Ю. ,Ставинський Р.А. , Савченко О. В. ,Горностай.Л.О.
- S.Wu, L.B.Zhou, S.H.Huang, et al. A study on doubly-fed induction machine with bi-directional ac/dc/ac converter. 39<sup>th</sup> International Universities Power Engineering Conference, 6th—8th September 2004, UWE Bristol, UK.



## УДК 621.314.2

Громаченко В.В.

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

## ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ПІДЙОМУ КРАНА

Останнім часом намітилася стійка тенденція до застосування частотно-регульованих електроприводів в крановому господарстві як в Україні, так і за кордоном. Ця обставина пояснюється наступним. Використання регульованих приводів в крановому господарстві дозволяє значно підвищити комфортні показники роботи крана в частині прискорення. У свою чергу, забезпечувані частотно - регульованим приводом плавні перехідні процеси призводять до значного зниження динамічних навантажень в елементах кінематичного ланцюга приводу, що дозволяє підвищити надійність і довговічність роботи механічного обладнання крана, відпадає необхідність заміни редуктора, канатоведущого барабана, гальмівних колодок, електродвигуна та інших елементів при модернізації кранів.

Метою роботи є довести покращення перехідних процесів при використанні частотно-регульованого електроприводу. Для цього потрібно скласти математичну модель електроприводу, реалізувати модель в середовищі *Simulink*, дослідити математичну модель в режимах пуску, гальмування, набросу навантаження.

Розглянемо функціональну схему електроприводу на рис 1.

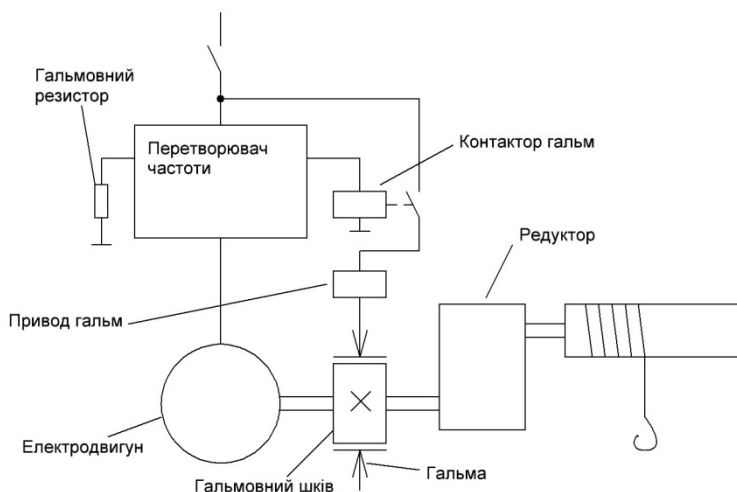


Рисунок 1 – Функціональна схема електроприводу

Перетворювач частоти являє собою інерційний елемент, змінює напругу і частоту на затискачах статора приводного двигуна відповідно до закону частотного керування. У зв'язку з інерційністю елементів системи управління перетворювачем частоти, його можна описати аперіодическім ланкою першого порядку:

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{U_m(t)}{f(t)} = \frac{k_{ПЧ}}{T_{ПЧ} \cdot p + 1}.$$

де  $U_m(t)$  – напруга на виході ПЧ;  $f(t)$  – частота живлячої напруги;  $k_{ПЧ}$ ,  $T_{ПЧ}$  – коефіцієнт пропорційності і постійна часу ПЧ, відповідно.

При аналізі динамічних властивостей асинхронного електромеханічного перетворювача треба розрізняти два випадки:

а) керуючим дією є вектор напруги статорного  $U_1$ , що характеризується модулем  $U_{1m}(t)$  і фазой  $\xi(t)$  в полярній системі координат або двома проекціями  $u_{1a}(t)$ ,  $u_{1b}(t)$  в декартовій нерухомій системі координат статора двигуна.

б) керуючим дією є амплітуда напруги статорного  $U_{1m}(t)$  і її частота  $\omega_{0e}(t) = d\xi(t)/dt$ .

У першому випадку здійснюється векторне управління, другий випадок визначається як частотне керування.

Розробка математичної моделі асинхронного електродвигуна

Диференціальні рівняння асинхронного перетворювача під час частотного регулювання записані у формі потокосцеплений. Рівняння представляються в синхронній системі координат, що обертається зі швидкістю поля статора.

При цьому, струми виражаються через потокозчеплення:

$$i_1 = (L_2\psi_1 - L_m\psi_2)/(L_1L_2 - L_m^2)$$

$$i_2 = (L_1\psi_2 - L_m\psi_1)/(L_1L_2 - L_m^2)$$

Враховуючи (3.2) і умови  $\omega_K = \omega_{0e}$ ,  $u_2 = 0$ ,  $u_2 = 0$  у рівняння механічної характеристики асинхронного двигателя мають вид:

$$\begin{cases} d\psi_{1u}/dt = -R_s\psi_{1u}/(L_r\sigma) + R_sL_m\psi_{2u}/(L_rL_s\sigma) + \omega_{0a}\psi_{1v} + U_{1m} \\ d\psi_{1v}/dt = -R_s\psi_{1v}/(L_r\sigma) + R_sL_m\psi_{2v}/(L_rL_s\sigma) - \omega_{0a}\psi_{1u} \\ d\psi_{2u}/dt = -R_r\psi_{2u}/(L_s\sigma) + R_rL_m\psi_{1u}/(L_rL_s\sigma) + \omega_{2a}\psi_{2v} \\ d\psi_{2v}/dt = -R_r\psi_{2v}/(L_s\sigma) + R_rL_m\psi_{1v}/(L_rL_s\sigma) - \omega_{2a}\psi_{2u} \\ M = (2/3)pL_m/(L_sL_r\sigma)(\psi_{1v}\psi_{2u} - \psi_{1u}\psi_{2v}) \\ J_\Sigma d\omega/dt = p(M - M_c) \\ \omega = \omega_{0a} - \omega_{2a} \end{cases}$$

де  $\psi_{1u}$ ,  $\psi_{1v}$ ,  $\psi_{2u}$ ,  $\psi_{2v}$  – потокозчеплення статора і ротора електричної машини по координатах  $u$  і  $v$  відповідно, Вб;  $U_{1m}$  – амплітудне значення напруги живлення обмотки статора, В;

$R_s$ ,  $R_r$  – активні опори обмоток статора і ротора відповідно Ом;

$L_s$ ,  $L_r$  – індуктивність фази статора і ротора відповідно, Гн;

$L_m$  – взаєміндуктивність обмоток статора і ротора, Гн;  $\sigma$  – коефіцієнт розсіювання;  $\omega_{0e}$ ,  $\omega_{2e}$ ,  $\omega$  – синхронна кутова швидкість магнітного поля, частота ковзання і поточна частота обертання ротора АД відповідно, с<sup>-1</sup>;  $M$ ,  $M_c$  – обертаючий електромагнітний і статичний моменти на валу електричної машини, Нм;  $\omega_n$  – номінальна кутова частота обертання електродвигуна, с<sup>-1</sup>;  $p$  – число пар полюсів;  $J_\Sigma$  – сумарний наведений момент інерції АД і навантаження, кг·м<sup>2</sup>.

Система рівнянь отримана за умови, що дійсна вісь системи координат ( $u-v$ ), яка обертається синхронно, поєднана з вектором напруги статора  $u_1$ . Змінні параметри машини, що змінюються синусоїдально, перетворюються у величини постійного струму, що характеризують проекції векторів на осі синхронної системи координат ( $u-v$ ). З урахуванням наведеного вище математичного апарату структурна схема ПЧ – АД на рис. 2.

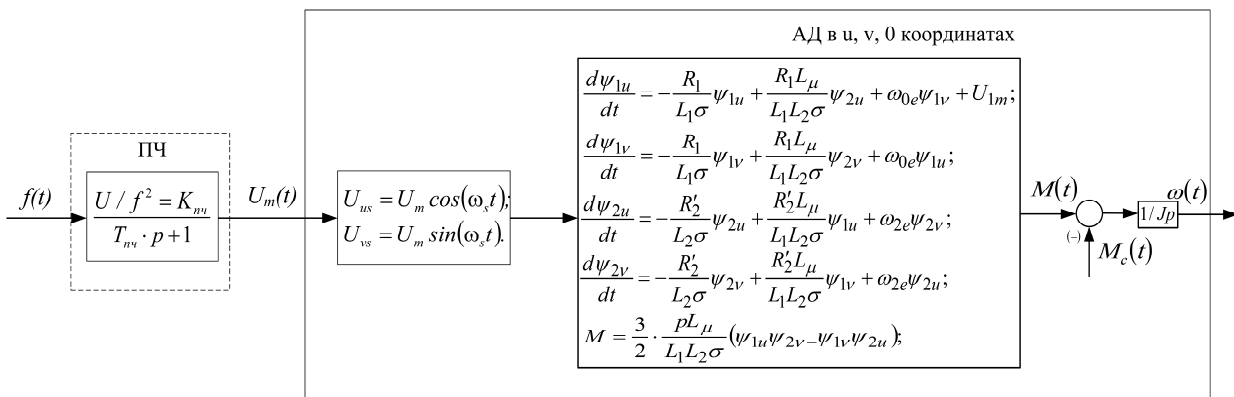


Рисунок 2 – Структурна схема ПЧ – АД

В математичному пакеті MathlabSimulinc було розроблено математичну модель електромеханічної системи, яка включає в себе ПЧ, АД (рис. 3), АД змодельована в системі координат  $u, v, 0$ . ПЧ включає модель закону частотного регулювання  $u/f = \text{const}$ . При моделюванні задавалися наступні режими роботи:

- частотний пуск до 50 Гц з часом пуску 0.75 сек і навантаженням 10% від номінальної;
- наброс номінального навантаження в момент часу 1.3 сек;
- гальмування до частоти 15 Гц починаючи з 2 сек з часом гальмування 0.75 сек.

Результати моделювання поєзани на рис. 4 і 5.

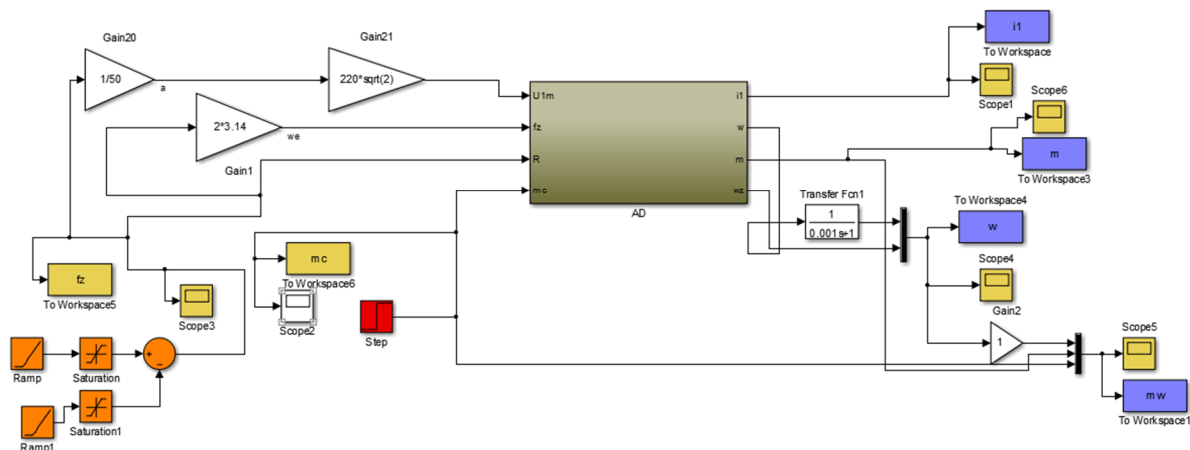


Рисунок 3 – Математична модель ПЧ-АД

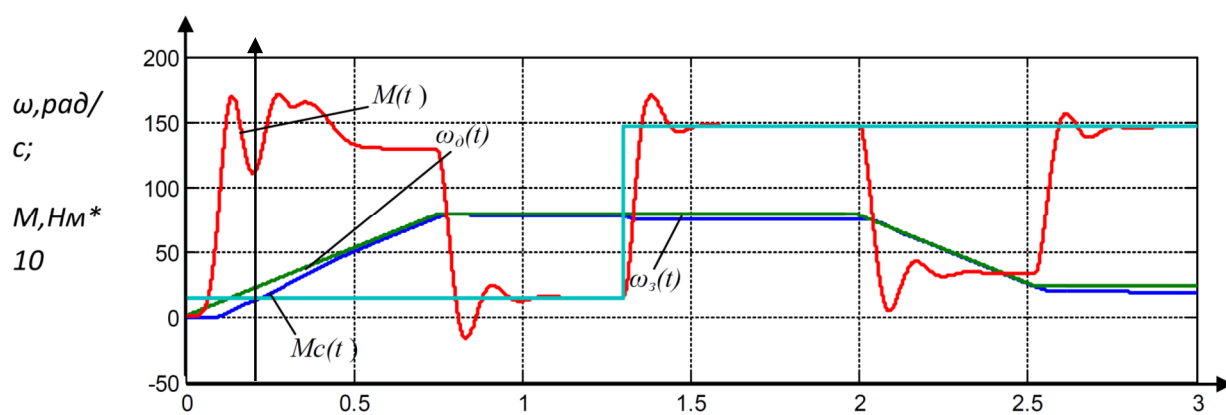
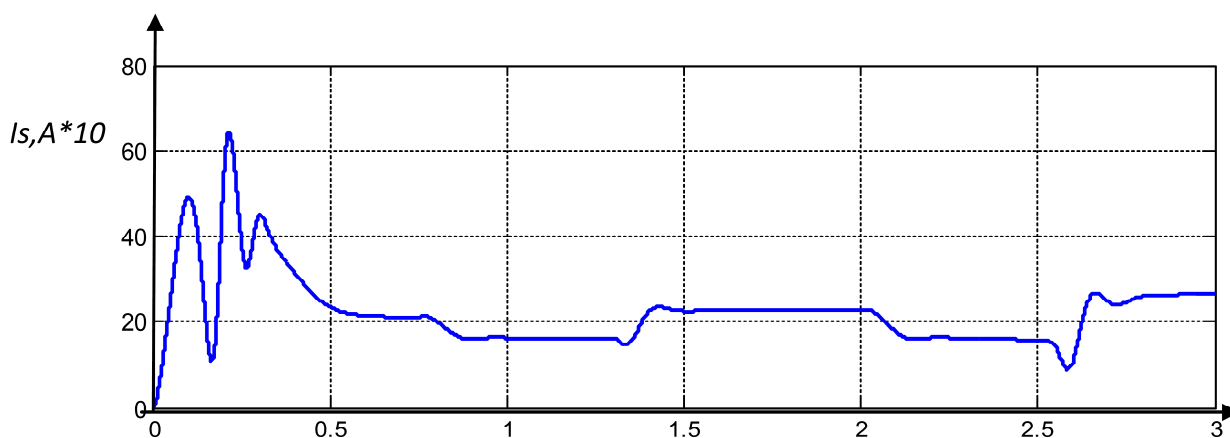
Рисунок 4 – Кутова частота обертання  $\omega(t)$ , електромагнітний момент  $M(t)$  і момент навантаження на валу  $Mc(t)$ 

Рисунок 5 – Вектор струмів статора

**Висновки.** Як видно з результатів моделювання перехідних процесів розімкнутої системи управління при плавному пуску з навантаженням, коливання електромагнітного моменту складають не більше 15-20%.

#### Список використаних джерел

1. Справочник по электрическим машинам. Том2/ И.П.Копылов, Б.К.Клюков-М.:Энергоатомиздат, 1989.– 688 с.

2. Теорія електроприводу: Учеб.посібник / Б.І.Фіраго, Л.Б. Павльчик. Мінськ: ЗАТ «Техноперспектива», 2004.- 527с.
3. . Електромагнітні і електромеханічні процеси в частотно - регульованих асинхронних електроприводах. Поздеев А.Д Чебоксари, 1998. 172 с.
4. . Энергозберігаючий асинхронний електропривод: Учеб. посібник для студ. вищ. навч. закладів / І.Я. Браславський, З. Ш. Ішматов, В. Н. Поляков; Під ред. І. Я. Браславського. - М.: Видавничий центр «Академія», 2004. - 256 с.

## УДК 621.314.2

Коновенко Г. А.

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

### СИСТЕМА ЧАСТОТНОГО КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ ЕЛЕКТРОПРИВОДА З КРИВОШИПНО-ШАТУННИМ МЕХАНІЗМОМ

У сучасній промисловості для перетворення різних типів механічного руху (обертний в поступальний і навпаки) використовується велика кількість механізмів з різноманітним принципом дії. Серед них достатньо велику частину займають пристрої з кривошипно-шатунним механізмом. Вони перетворюють обертний рух валу двигуна у лінійне переміщення виконавчого органу. До таких механізмів відносяться: поршньові компресори та насоси, пільгер-стани, летючі ножиці, штангові насоси-гойдалки, ковальсько-пресове обладнання тощо. У більшості випадків використовується вольт-частотний закон керування (частотне або скалярне керування) швидкістю електричного двигуна. Але враховуючи особливості кривошипно-шатунного механізму та пристрою, в якому цей механізм використовується, не завжди доцільно використовувати саме просте частотне керування. В даній роботі розглядаються особливості кривошипно-шатунних механізмів та їх вплив на вибір закону керування швидкістю АД в системі ПЧ- АД на прикладі кривошипного пресу.

Виходячи з аналізу режимів роботи електроприводу ковальського пресу з кривошипно-шатунним механізмом, можна визначити наступні властивості системи керування таким електроприводом пресу з КШМ:

- плавне регулювання швидкості під час розгону електропривода;
- підтримання постійного ковзання під час виконання технологічної операції (пресування).

На рис. 1 наведено функціональну схему частотно керованого електропривода, яка реалізує необхідні вимоги. Розглянемо їх реалізацію.

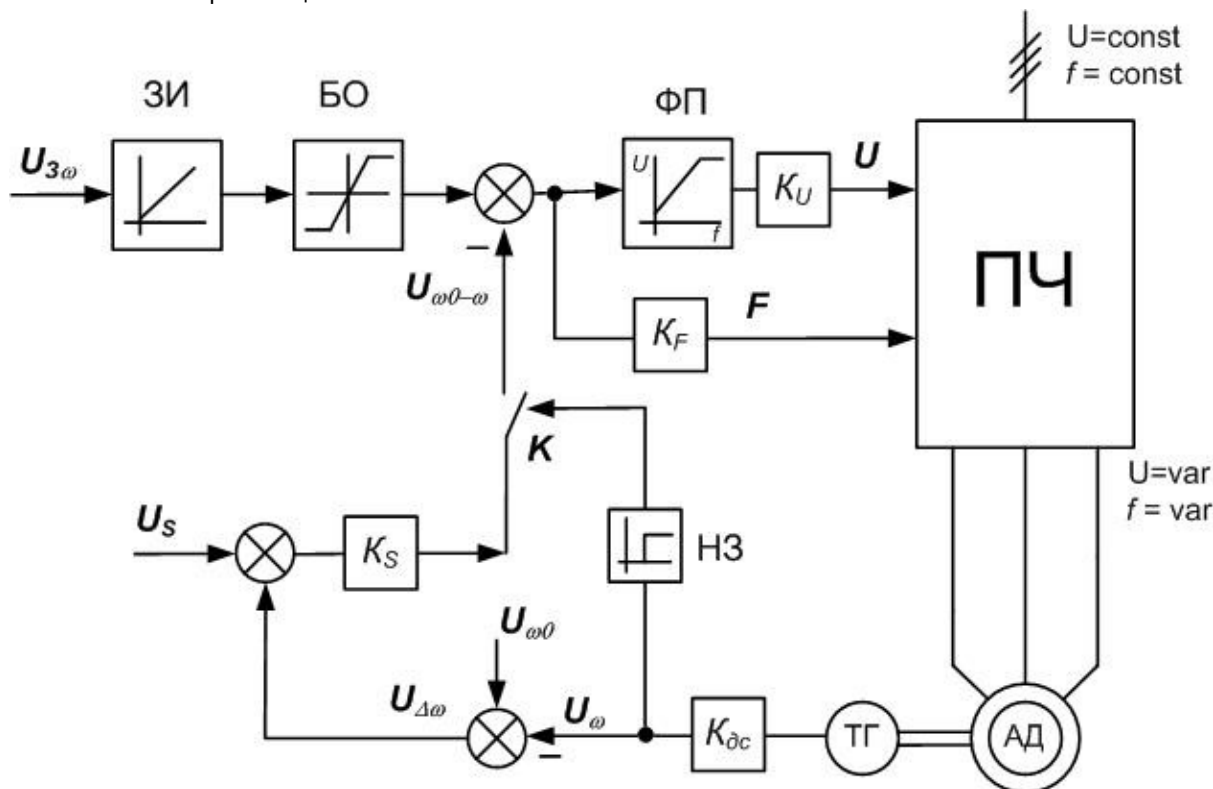


Рис. 1 – Функціональна схема асинхронного електроприводу з частотним керуванням швидкості

Оскільки величина моменту навантаження пресу при виконанні технологічної операції не залежить від швидкості обертання і на інтервалі дії його можна вважати постійним, то для регулювання швидкості в таких випадках використовують закон частотного керування  $U/f = \text{const}$  при  $M_c = \text{const}$  (при  $MC = \text{const}$ ). Для плавної зміни вихідної частоти та напруги використовується задатчик інтенсивності ЗИ, вихід якого обмежується блоком обмеження БО. Вихід задавача інтенсивності подається в канали завдання напруги та частоти для перетворювача. Сигнал завдання в сигнал напруги перетворюється за допомогою функціонального перетворювача ФП та коефіцієнта підсилення  $KU$ . Фактично ФП реалізує залежність напруги на виході перетворювача від заданої частоти  $F$ . Канал завдання частоти складається лише з пропорційного коефіцієнта, що визначає залежність між максимальним сигналом завдання та максимальною вихідною частотою.

Під час роботи пресу підтримання постійного ковзання необхідно лише під час штампування, в усіх інших режимах необхідності в цьому немає. Тому в запропонованій схемі реалізовано керування підключенням каналу керування ковзання. Підключення здійснюється ключем  $K$  під керування нелінійної ланки НЗ. Вихід НЗ встановлюється в одиницю в функції швидкості двигуна, після закінчення розгону. Канал підтримання ковзання працює наступним чином. Розраховується дійсне значення ковзання (сигнали напруги, пропорційний дійсному ковзанню):

$$U_{\Delta W} = U_{W0} - U_W,$$

де  $U_{\Delta W}$  – напруга, пропорційна ковзанню,  $U_{W0}$  – напруга, пропорційна синхронній швидкості обертання,  $U_W$  – напруга, пропорційна дійсній швидкості обертання, вихід датчика швидкості.

Напруга, пропорційна ковзанню  $U_{\Delta W}$ , порівнюється з напругою, пропорційною, заданому ковзанню  $U_S$ . Різниця множиться на коефіцієнт датчика зворотного зв'язку за ковзанням  $K_S$ . Вихід датчика ковзання, при замкненому ключі  $K$ , порівнюється з сигналом завдання на напругу та частоту і різниця подається як саме сигнал завдання.

**Висновки.** Запропоновано систему стабілізації ковзання при роботі преса у робочому режимі. Система призначена для зменшення втрат в електроприводі і тим самим підвищення його ефективності.

#### Список використаних джерел

1. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
2. Казачковський М.М. Комплектні електроприводи: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: НГА України, 2003. – 225 с

#### УДК 621.314.2

Грабовський І. В.

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

## ОЦІНКА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МОМЕНТУ В ЧАСТОТНОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ

Асинхронний двигун є найбільш простим і надійним приладом, який перетворює електричну енергію в механічну. Метою роботи є поліпшення споживчих властивостей у частотному електроприводі з скалярним управлінням за рахунок введення можливості регулювання моменту.

Для досягнення поставленої мети у магістерській роботі вирішувалися такі основні завдання:

- огляд методів управління параметрами в електроприводі;
- обґрунтування способу оцінки моменту в частотному електроприводі;
- дослідження точності розробленого способу оцінки моменту.

У багатьох джерелах [1-5] вказується на пропорційність електромагнітної потужності електромагнітному моменту та кутової швидкості поля:  $P_{EM} = M_{EM}$ . В перетворювачах частоти синхронна швидкість є відомою величиною, споживану потужність можна обчислити шляхом множення напруги та струму у шині постійного струму. Якщо знехтувати механічними втратами у двигуні, то  $M_{BM} = M_{EM}$ . Тоді можливо розрахувати момент електродвигуна можливо за допомогою наступної формули:

$$M_{EM} = U_{Пср} I_{Пср} / \omega_c,$$

Де  $M_{EM}$  – електромагнітний момент,  $U_{Пср}$ ,  $I_{Пср}$  – напруга і струм в колі постійного струму перетворювача частоти,  $\omega_c$  – синхронна швидкість обертання. Розглянемо модель, яка реалізує процес оцінки електромагнітного моменту при зміні частоти обертання від 0,4 до 0,8. Модель побудована за допомогою ПЗ Simulink (рис. 1).

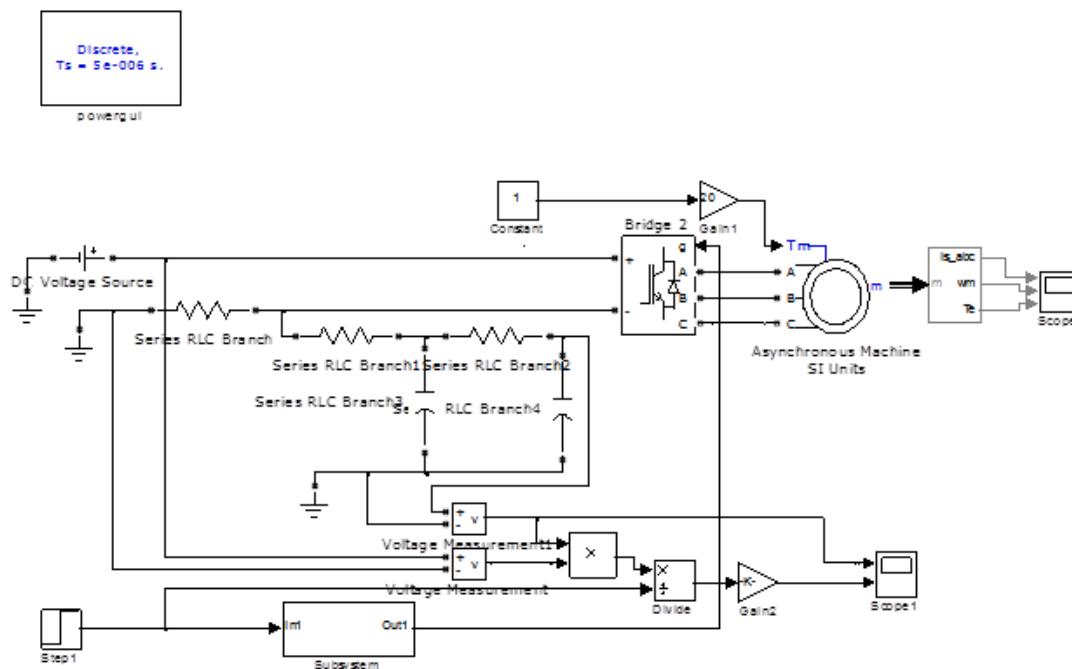


Рисунок 1 – Загальний вид моделі в ПЗ Simulink

Модель складається із двох частин: силової частини та системи управління. Далі розглянемо модулі силової частини

Джерело постійної напруги (DC Voltage Source) має напругу на виході 400 вольт. Він підключений до мосту, який складається із IGBT транзисторів та діодів. За допомогою компонента scope можливо побудувати графіки струмів асинхронного двигуна ( $i_{r\_abc}$ ), швидкості ( $w_m$ ) і моменту ( $T_e$ ).

Запустимо симуляцію і отримаємо наступні графіки:

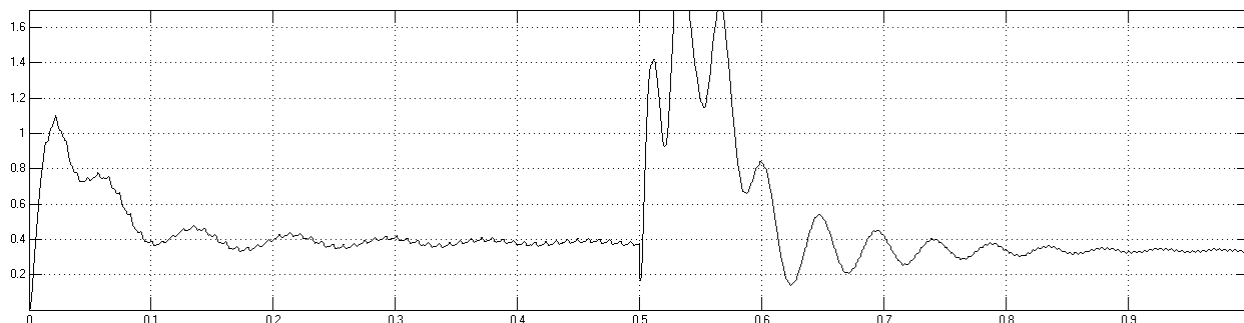


Рисунок 2 – Обчислене значення моменту.

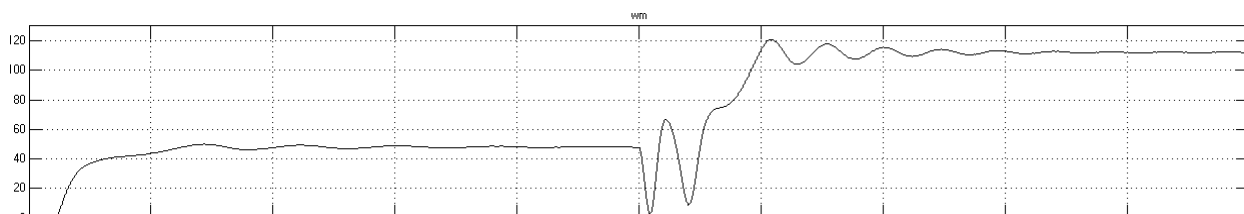


Рисунок 3 – Частота обертання двигуна.



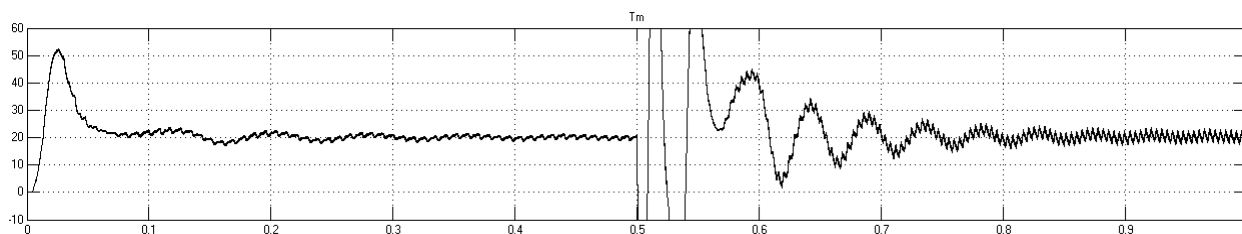


Рисунок 4 – Реальний момент на валу.

При більш детальному розгляді графіків видно, що вимірне значення моменту змінилось з 0,38 до 0,33. Отже, похибка виміру в даному випадку складає біля 13%. Така точність недостатня для цілей стабілізації моменту, але може бути корисною у випадку приблизного обмеження моменту, наприклад при формуванні механічної характеристики приводу рухально-рульового комплексу підводного апарату. В результаті моделювання показано, що оцінка електромагнітного моменту в частотному електроприводі при допомозі споживаної потужності дає точність біля 13%, що достатньо для приблизного обмеження моменту на валу гребних приводів підводних апаратів.

**Висновки.** В результаті моделювання показано, що оцінка електромагнітного моменту в частотному електроприводі при допомозі споживаної потужності дає точність біля 13%, що достатньо для приблизного обмеження моменту на валу гребних приводів підводних апаратів.

#### Список використаних джерел

1. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с преобразователем частоты, Шрейнер Р.Т., Екатеринбург: УРО РАН, 2000
  2. Автоматизированный электропривод, Е.В. Арменский, П.А. Прокофьев, Г.Б. Фалк, Москва, Высшая школа, 1987.
  3. Основы электропривода, Н. Ф. Ильинский, МЭИ, 2007.
  4. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Учеб. пособие, подгот. проф., д.т.н. Радимов С. Н., - Одесса, 2007
  5. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод: Учебное пособие по курсу "Типовые решения и техника современного электропривода", Осипов О.И. - М.: Издательство МЭИ, 2004
- Енергосберегающий асинхронный электропривод под ред. И. Я. Браславского, Браславский И. Я., Ишматов З. Ш., Поляков В. Н. - М: Academia, 2004.

УДК 681.5.013

Горобець М.М.

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

## РОБАСТНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ГОЛОВНОГО РУХУ ПОВЗДОВЖНЬО-СТРУГАЛЬНОГО ВЕРСТАТА

Достатньо розповсюдженими на виробництві є повздовжньо-стругальні верстати. Вони призначені для утворення плоских поверхонь на заготовках, які або неможливо, або незручно обробляти на фрезерних верстатах. В наслідок обробки на повздовжньо-стругальних верстатах отримуються дуже точні поверхні, які піддаються пришабруванню легше, ніж фрезеровані поверхні. У якості системи керування електроприводу головного руху на багатьох повздовжньо-стругальних верстатах застосовують систему "генератор-двигун". Така система фізично та морально застаріла і в більшості випадків не забезпечує необхідних показників якості при експлуатації. Також відомо про ряд суттєвих недоліків, серед яких низький ККД, висока вартість і громіздкість, що визначаються наявністю в системі великого числа електричних машин (асинхронний двигун, генератор та двигун постійного струму).

Метою роботи є модернізація системи керування головного руху повздовжньо-стругального верстата модель 7212 шляхом заміни існуючої системи керування на робастну систему.

Базуючись на вище перерахованих недоліках, запропоновано модернізацію системи керування головного руху верстата шляхом заміни на робастну систему керування. Використання робастних регуляторів у вигляді структури [1], що складається з типових ланок, в системах тиристорного електроприводу дозволяє зробити модернізацію з мінімальними фінансовими витратами. Для створення регуляторів з таких ланок існує достатня елементна база. Реалізація робастних регуляторів на основі цієї бази дозволяє в найкоротші терміни провести модернізацію електроприводів, що знаходяться в експлуатації.

Теоретичною основою для розрахунку робастного регулятора служили  $H_\infty$  - теорія робастного керування [2]. Розрахунки проводились із застосуванням програмного продукту MATLAB [3]. Синтез оптимального стабілізуючого регулятора  $K(p)$  проводився методом змішаної чутливості для об'єкта  $P(p)$  з невизначеністю  $\Delta(p)$  (рис. 1).

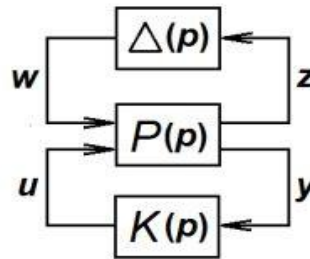


Рис. 1

Якість системи контролювалась за допомогою обраних трьох вагових функцій  $W_1(p)$ ,  $W_2(p)$ ,  $W_3(p)$ , які приєднувалися до об'єкту  $P(p)$ . Використання вагової функції  $W_1(p)$  дозволяє зробити похибку  $e(t)$  достатньо малою в діапазоні низьких частот, а використання вагової функції  $W_3(p)$  зробити вихідний сигнал  $y(t)$  малим у високочастотному діапазоні. Використання вагової функції  $W_2(p)$  дозволяє обмежити потужність сигналу керування  $U(t)$ .

Для конкретного електроприводу головного руху повздовжньо-стругального верстата модель 7212 з потужністю електродвигуна 100 кВт було побудовано структурну схему системи ТП-ЕД, із якої згодом було отримано структурну схему системи ТП-ЕД у просторі станів (рис. 2).

Далі цю схему було перетворено відносно невизначених параметрів, тобто таких параметрів, які можуть змінювати своє значення протягом роботи електропривода. За невизначені параметри в структурній схемі, було прийнято коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача  $K_{\Pi}$ , індуктивність  $L$ , опір якорного кола  $R$  та момент інерції  $J$ . Опір та індуктивність якорного кола входять до електромагнітної сталої часу:

$$T_e = \frac{L}{R}. \quad (1)$$

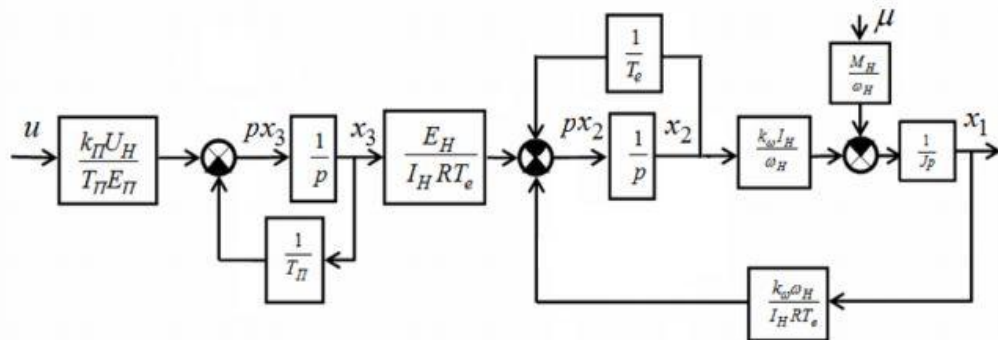


Рис. 2

У ході перетворення була отримана структурна схема відносно невизначених параметрів. Згодом для кожного з невизначених параметрів було побудовано структурну схему відповідно до наступних рівнянь:

$$\begin{aligned} K_{\Pi} &= K_{\Pi H} \cdot (1 + p_{K_{\Pi}} \cdot \delta_{K_{\Pi}}); \\ L &= L_H \cdot (1 + p_L \cdot \delta_L); \\ R &= R_H \cdot (1 + p_R \cdot \delta_R); \\ J &= J_H \cdot (1 + p_J \cdot \delta_J), \end{aligned} \quad (2)$$

де  $p_{K_{\Pi}}$ ,  $p_R$ ,  $p_J$  - коефіцієнти відхилень відносних значень невизначених параметрів  $\delta_{K_{\Pi}}$ ,  $\delta_L$ ,  $\delta_R$ ,  $\delta_J$ .

Розрахунок передавальної функції робастного регулятора відбувався в пакеті розширення Robust Control Toolbox програмного продукту MATLAB. Для цього був застосовано  $\gamma$  -ітераційний метод мішаної чутливості. В процесі чисельного рішення була знайдена математична модель  $H_\infty$ -субоптимального робастного регулятора. Його передавальна функція  $K(p)$  має вигляд

$$K(p) = \frac{8.734 \cdot 10^4 p^4 + 5.247 \cdot 10^7 p^3 + 7.295 \cdot 10^9 p^2 + 5.837 \cdot 10^{10} p + 1.229 \cdot 10^{10}}{p^5 + 2868 p^4 + 1.592 \cdot 10^6 p^3 + 2.803 \cdot 10^8 p^2 + 3.753 \cdot 10^8 p + 2.563 \cdot 10^8} \quad (3)$$

Результати моделювання перехідних процесів кутової швидкості здійснювалось в пакеті Robust Control Toolbox при одиничній ступінчастій зміні задаючого впливу показано на рис. 3.

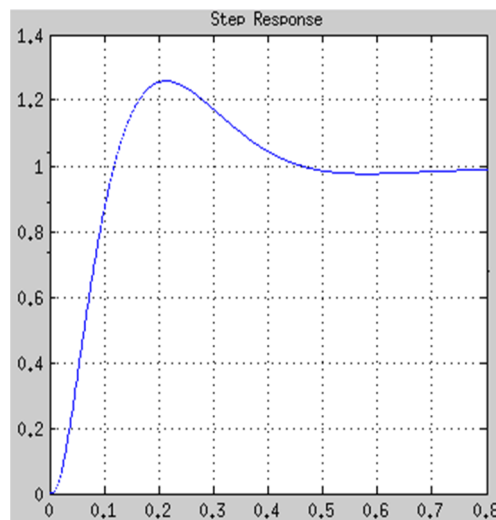


Рис. 3

Завдяки запропонованому способу модернізації за мінімальний час вдалося розрахувати нову систему керування електроприводом головного руху повздовжньо-стругального верстата модель 7212, яка задовольняє усім показникам якості, які пред'являються до систем керування електроприводами.

**Висновки.** Запропоновано модернізацію системи керування електроприводу головного руху повздовжньо-стругального верстата модель 7212, що дозволяє покращити точність обробки деталей та є гідною заміною старої системи керування, яка морально та фізично застаріла. Моделювання перехідних процесів показало, що робастний регулятор при змінних параметрах об'єкта керування забезпечує необхідні показники якості керування: час перехідного процесу становить  $t = 0.612\text{с}$ , перерегулювання

#### Список використаних джерел

1. Хлопенко Н.Я., Хлопенко И.Н. Структурный синтез стабилизирующего робастного регулятора потокозцепления ротора // Электротехника і електромеханіка, 2017. – № 1. – С.21-25.
2. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления / Под ред. Н.Д. Егупова – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744 с.
3. Richard Y., Chiang R., Michael G., Safonov M. MATLAB: Robust Control Toolbox. User's Guide. Version 2, 1998.– 230 p.– Режим доступу: <http://www.mathworks.com>.

#### УДК 621.314

Гордієнко Р.О., Мінько О.Ф., Цурака Р.В магістранти гр.6371мз

Керівник к.т.н., доцент Васильєв О.Г

Національний Університет Кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ ПРОМИСЛОВИХ МЕХАНІЗМІВ

Для верстатів токарної групи, в яких головний рух є обертальним, потрібно зазвичай забезпечення постійної потужності в більшій частині діапазону зміни швидкостей та тільки в області малих швидкостей постійність моменту, рівного найбільшому допустимому за умовою міцності механізму головного руху. Малі частоти обертання необхідні для специфічних видів обробки: нарізання різьби мітчиками, обточування зварних швів та ін [1].

Для отримання вигідної швидкості різання на токарних верстатах слід мати можливість регулювати її в діапазоні від 10:1 до 1000:1. При цьому бажано мати по можливості плавну динаміку зміни з тим, щоб у всіх випадках забезпечити найбільш вигідну швидкість та якість різання.

Ступеневе механічне регулювання кутової швидкості на токарних верстатах, найчастіше здійснюється перемиканням шестерень коробки швидкостей, що не забезпечує для різних діаметрів обробки найбільш вигідну шви-

дкість різання. Отже, верстат при зміні діаметра оброблюваної деталі не може забезпечити високу продуктивність. Крім того, коробка швидкостей являє собою досить складну і громіздку конструкцію, вартість якої зростає зі збільшенням числа ступенів.

Якщо діапазон зміни частоти обертання шпинделя великий, коробки передач виходять складними та багатоступеневими, що веде до підвищеного енергоспоживання.

В останні 10-15 років енергозбереження стало одним з основних пріоритетних напрямків технічної політики в усіх розвинених країнах світу поряд з інформатизацією і комп'ютеризацією. Це пов'язано з обмеженістю всіх основних енергоресурсів, з безперервно зростаючими складнощами їх видобутку і відповідно вартістю, з глобальними екологічними проблемами, що з'явилися останнім часом. Енергозбереження в будь-якій сфері зводиться по суті до зниження марних втрат енергії.

Вважаючи на те, що більше 60% цієї електроенергії, що виробляється, споживають електроприводи, можна зробити висновок про високу актуальність задач енергозбереження при проектуванні, експлуатації, а також модернізації систем електропривода.

З безлічі областей, в яких є потенційна можливість енергозбереження засобами електропривода, можна виділити широке впровадження частотно-регульованих асинхронних електроприводів в системах для регулювання швидкості обертання насосів, вентиляторів, нагнітачів, компресорів та т.п.

Переведення на частотне регулювання дає наступні переваги:

- забезпечується плавне регулювання швидкості при істотному зниженні енергоспоживання;
- підвищується точність і якість регулювання швидкості;
- плавність пуску і гальмування, відсутність різких поштовхів збільшують термін служби всіх механічних елементів підйомно-транспортних пристроїв, підвищують комфортність керування і забезпечують збереження вантажу.

Говорячи про енергозбереження засобами регульованого електропривода, слід зазначити, що багато сучасних перетворювачів частоти містять в собі функції так званого енергозберігаючого керування, яке полягає в більш гнучкому керуванні напругою двигуна при зміні навантаження, що дозволяє в деяких режимах додатково заощадити до 30% споживаної електроенергії за рахунок зниження втрат в двигуні [2].

Ще один шлях полягає у виборі раціонального типу електропривода для конкретної технологічної установки і переході від нерегульованого електропривода до регульованого.

**Мета роботи.** Розглянути можливість модернізації токарного верстата за рахунок заміни ступеневого регулювання швидкості на плавне частотне регулювання для забезпечення істотного зниження енергоспоживання.

На основі аналізу технологічного процесу, умов експлуатації та технічних вимог до електропривода вибрати перспективний варіант системи керування асинхронного електродвигуна, вибрати перспективний варіант перетворювача частоти. Для підтвердження заявлених переваг частотного регулювання провести розрахунок динамічних властивостей системи керування електропривода.

На підставі аналізу існуючих систем керування асинхронними двигунами за базову систему керування для дослідження роботи привода головного руху обраний перетворювач частоти Lenze 8200 Vector з векторною системою керування.

Векторне керування є методом керування синхронними (СД) і асинхронними двигунами (АД), не тільки формує гармонійні струми (напруги) фаз (скалярне керування), а й забезпечує керування магнітним потоком ротора [3].

Векторне керування позбавляє практично від усіх недоліків скалярного керування. Головна ідея векторного керування полягає в тому, щоб контролювати не тільки величину і частоту напруги живлення, але і фазу.

На рисунку 1 наведена функціональна схема векторної системи керування, з якої видно, що керовані величини проходять певні перетворення координат, які звуться: "Перетворення Кларка й Парка".

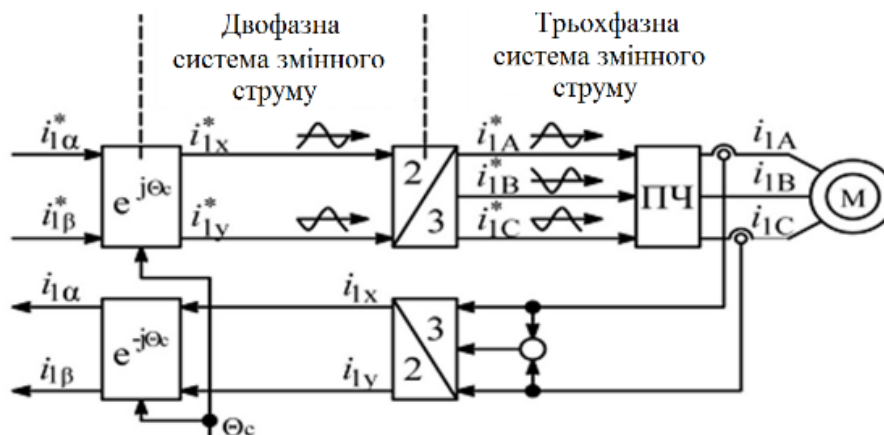


Рис. 1 - Функціональна схема векторної системи керування:

$i_{\alpha}, i_{\beta}$  - струми в обертовій із частотою  $\Theta_c$  системі координат;  $i_x, i_y$  - струми в системі координат жорстко зв'язаної зі статором;  $i_A, i_B, i_C$  - фазні струми статора

Перетворення відбувається в кілька етапів:

- з обертової системи координат  $\alpha$ - $\beta$ , яка обертається із частотою  $\Theta_c$ , в нерухливу жорстко зв'язану зі статором систему координат  $x$ - $y$ ;
- перетворення із системи координат  $x$ - $y$  у трифазну систему координат ABC.

Перетворення Кларка використовує трифазні струми  $i_A, i_B, i_C$  для того, щоб обчислити струми у двофазній ортогональній системі координат статора в осях  $i_x$  і  $i_y$ . Отримані два струми в нерухливій системі координат статора перетворюються до  $i_{\alpha}, i_{\beta}$  складових струмів у системі координат  $\alpha$ - $\beta$  відповідно до перетворення Парка.

Моделювання системи керування заключає в собі реакцію системи (моделі) на одиничний скачок ступеневого сигналу. По отриманим перехідним процесам видно, як система реагує на цей скачок.

На рисунку 2 наведена розрахункова модель векторного керування (АД) приводу головного руху механорізального верстата.

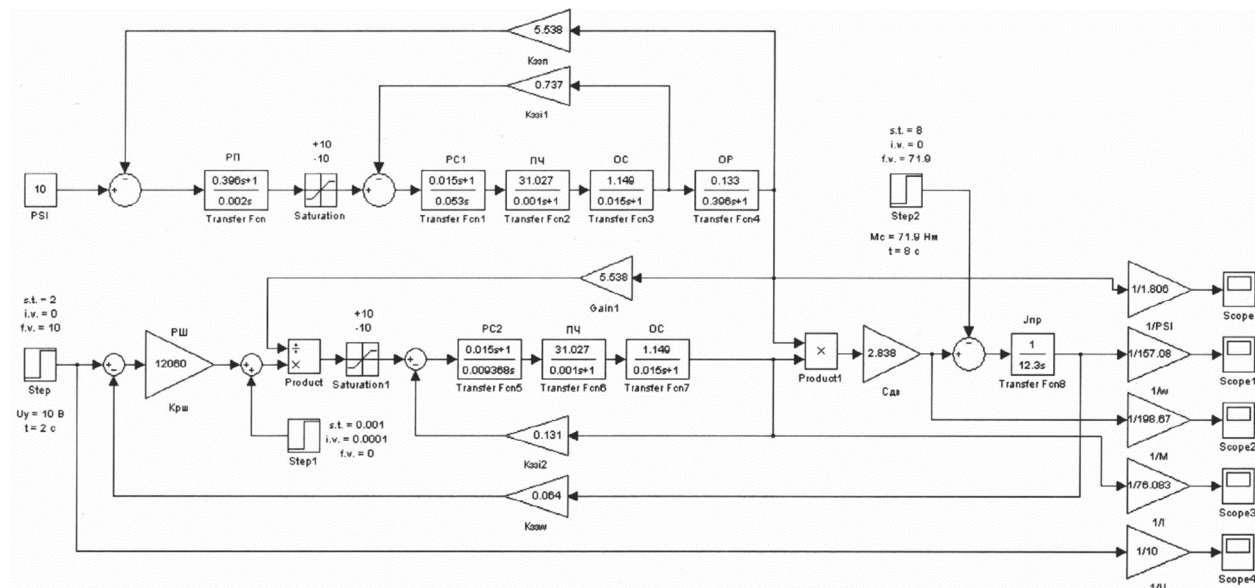


Рис. 2 - Розрахункова модель векторного керування асинхронного двигуна приводу головного руху

Побудова перехідних процесів виконувалася за допомогою програми Matlab v.6.5 2002 пакету Simulink. Результати побудови перехідних процесів при векторному пуску двигуна наведені на рисунку 3.

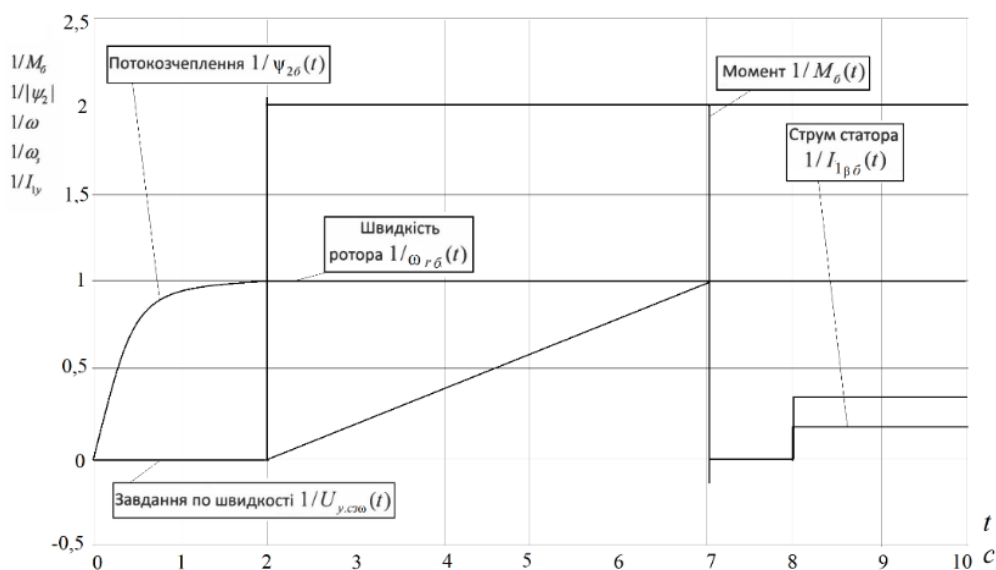


Рис. 3 - Графіки перехідних процесів при векторному пуску двигуна



В оптимізованій моделі векторної системи керування з графіків перехідних процесів видно, що потокозчеплення досягає режиму, що встановився приблизно за 2 с. З 2 с починається розгін двигуна та режим, що встановився настає приблизно на 6,8 с. Графік перехідного процесу завдання по швидкості (керуючий вплив) являє собою одиничний скачок з висотою ступеня 10.

Швидкість ротора має аперіодичний характер з мізерним незначним перерегулюванням. яке помітно лише при великому масштабуванні картини в середовищі Simulink, тобто цим перерегулюванням можна цілком знехтувати. Коли двигун та виконавчий механізм є розігнаними, приблизно через 6,8 с, подається навантаження на привод. Такий великий час перехідного процесу швидкості ротора (6,8 с) досягає через те, що має місце велика інерційність механічної частини електропривода за рахунок великої маси виконавчого механізму, а саме болванки, що оброблятиметься, так як, в розрахунках задаємося максимальними вагою та розмірами болванки, яка може оброблятися на верстаті. На 8 с, коли швидкість остаточно встановилася, подається момент статичного навантаження, який являє собою мізерний скачок, який не видно на графіку швидкості, але помітно на графіку перехідного процесу струму статора, струм декілька збільшився з незначними коливаннями.

Перехідний процес струму статора знаходиться в межах норми (визначається за паспортною кратністю пускового струму  $K_t$ ). Перехідний процес моменту також знаходиться в межах норми (визначається за паспортною кратністю пускового моменту  $K_m$ ). Струм зростає при подачі керуючого впливу на 2 с, та не доходячи до 6,8 с падає за рахунок того, що система керування разом з електроприводом ввійшла до режиму, що встановився.

**Висновки.** Отримані результати дослідження показали, що спроектована система векторного керування асинхронного двигуна від перетворювача частоти Lenze 8200 Vector працює оптимально і двигун стартує плавно. Плавність пуску та регулювання швидкості ротора досягається завдяки вбудованій в перетворювач частоти системи "м'якого пуску".

#### Список використаних джерел

1. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. Под редакцией И.Я. Браславского. - АCADEMA 2004.
2. Закладний О.М. Енергозбереження засобами промислового електропривода. Навчальний посібник / О.М.Закладний, А.В. Праховник, О.І. Соловей – Київ. Кондор. 2005 – 408 с.
3. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».- Иваново, 2008. 298 с.

УДК 681.5(075.8)

Низовий А. С.

Керівник: к.т.н, доц. Шарейко Д.Ю

## ВИКОРИСТАННЯ КОНТУРУ ПОТУЖНОСТІ В МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ

При обробці валків, що мають неоднорідну структуру або різні фізико-механічні властивості, виникають скачки потужності різання, що глибоко впливають на якість поверхонь валків та точність геометричних розмірів виготовленого прокату. У зв'язку з цим набуває актуальності проблема стабілізації потужності різання на заданому рівні, вирішення якої належним чином здійснить позитивний вплив на якість поверхонь валків, що обробляються. Аналіз існуючої літератури дає змогу неодноразово упевнитися в тому, що з появою нововведень в машинобудуванні, і в тому числі й у верстатобудуванні, питання керування процесами обробки деталей набувають нових труднощів і відтінків, які у свою чергу потребують знаходження більш раціональних та перспективних вирішень.

Тому метою роботи є розробка системи керування електроприводом токарних верстатів, визначення максимально можливої потужності різання та знаходження необхідного рівня стабілізації потужності.

Для компенсації всіх постійних необхідна наступна передавальна функція регулятора потужності:

$$W_{pn}^{co}(p) = \frac{(T_p p + 1) \cdot (T_{dn} p + 1) \cdot K_{33ув}}{K_p \cdot K_{dn} \cdot K_{nn} \cdot 2 \cdot T_{op}} = \frac{T_p \cdot T_{dn} \cdot K_{33ув}}{K_p \cdot K_{dn} \cdot K_{nn} \cdot 2 \cdot T_{op}} p +$$

$$+ \frac{(T_p + T_{dn}) \cdot K_{33ув}}{K_p \cdot K_{dn} \cdot K_{nn} \cdot 2 \cdot T_{op}} + \frac{K_{33ув}}{K_p \cdot K_{dn} \cdot K_{nn} \cdot 2 \cdot T_{op} \cdot p}$$



Підставивши значення постійних часу і коефіцієнтів передачі, одержимо:

- 1) пропорційна частина регулятора потужності  $K_{прп} = 7.3529$ ;
- 2) інтегральна частина регулятора потужності  $K_{іпр} = 0.0338$ ;
- 3) диференціальна частина регулятора потужності  $K_{дрп} = 0.0029$ .

Таким чином, інтегральна і диференціальна частини виявилися не досить значними в порівнянні з пропорційною частиною регулятора потужності, звідки витікає, що для забезпечення необхідних показників якості як в динаміці, так і в статичності досить пропорційного інтегратора потужності.

Стабільність роботи приводу в установленому режимі характеризується відхиленнями швидкості при зміні навантаження, напруги мережі живлення та температури навколишнього середовища.

Запишемо рівняння швидкості руху електроприводу в статичності:

$$\omega = \frac{K_{ршв} \cdot \frac{1}{K_{оспр}} \cdot \infty}{1 + \frac{K_{ршв} \cdot K_{ошв} \cdot \infty}{K_{оспр}}} \cdot U_{ст} - \frac{\infty}{1 + \frac{K_{ршв} \cdot K_{ошв} \cdot \infty}{K_{оспр}}} \cdot I_e =$$

$$= \frac{1}{K_{ошв}} \cdot U_{ст} - \frac{K_{оспр}}{K_{ршв} \cdot K_{ошв}} \cdot I_e = \omega_0 - \Delta\omega_c$$

Де  $\omega_c$  — швидкість обертання двигуна;  $\omega_0$  — швидкість холостого ходу двигуна:

$$\omega_0 = \frac{U_{ст}}{K_{ошв}} = \frac{8}{0.10186} = 78.54 \text{ 1/с},$$

де  $U_{ст}$  — статичне падіння швидкості при статичному струмі.

Тоді:

$$\Delta\omega_c = \frac{K_{оспр} \cdot I_e}{K_{ршв} \cdot K_{ошв}} = \frac{1.143 \cdot 10^{-2} \cdot 333}{20.8 \cdot 0.10186} = 1.7 \text{ 1/с}$$

Вираз розкритий із застосуванням правил Лопітала для розкритті невизначеностей вигляду  $\left[ \frac{\infty}{\infty} \right]$ .

Підводячи підсумки виконаного дослідження, можна зробити наступний висновок: перерегулювання за потужністю складає при найважчому режимі 4.6%.

#### Список літератури:

1. В.Г. Розрахунок систем підпорядкованого регулювання вентильного електроприводу постійного струму. — М.: Енергія, 1972г. — 134с.
2. Шапарев Н.К. Розрахунок автоматизованих електроприводів систем управління металообробкою: Навчальн. допомога. — 2е видавництво, перераб. і доп. — К.: Либідь, 1992. — 272с.

УДК 681.5 : 621-941.229.3

Козлов А.Ю.

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

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв

## КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ САМОЗАТИСКОГО ПАТРОНУ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТУ

Сучасне виробництво розвивається шляхом автоматизації технічних засобів, впровадження систем обробки інформації та автоматичного керування технічними об'єктами, зокрема верстатами. На ряду з цим є принципи організації розвитку виробництва, які сформувалися за десятиліття індустріалізації для різних галузей промисловості. Згідно з цими принципами ціллю модернізації виробництва є не тільки забезпечення більшої ефективності робіт, а й оптимізація фінансових витрат на етапах поступової модернізації, що особливо важливо для багатьох підприємств України, які мають великий парк верстатів з достатнім ресурсом роботи, тому актуальною є розробка технічних засобів автоматизації – систем управління на сучасній елементній базі, які дозволяють не тільки подовжити використання верстатного парку, а й підвищити ефективність їх роботи[1].

Одним з розповсюджених видів технологічних операцій на механічному і машинобудівному виробництві є токарні роботи. Значну долю часу використання цих робіт займає встановлення та орієнтація заготовок. Суттєво скоротити в часі операції, пов'язані з заміною заготовок при серійному виробництві, дозволяє автоматизація патрону токарного верстату.

У діючій системі управління електроприводом самозатискного патрону токарного верстату використовується нерегульована релейна система. Розроблена комп'ютеризована система управління, що дозволяє збільшити точність затиску заготовки та підвищити продуктивність праці.

Система управління електроприводом патрону дозволяє за командою здійснювати затиск та розтиск заготовок і забезпечує потрібну силу затиску, яку користувач може задати з клавіатури. Очікуваний ефект від впровадження цієї системи, насамперед при серійних роботах, може бути оцінений за економією робочого часу, а отже за збільшенням кількості виробів за зміну[2].

Метою роботи є розробка комп'ютеризованої системи управління електроприводом самозатискного патрону токарного верстату, що дозволяє збільшити точність затиску заготовки та підвищити продуктивність праці.

Для досягнення мети було виконано наступні задачі:

- розроблено функціональну схему контуру регулювання сили затиску заготовки;
- розроблено принципову електричну схему комп'ютеризованої системи управління електроприводом самозатискного патрону та обрано її елементи;
- складено математичну та динамічну моделі САУ;
- розраховано структуру і параметри регулятора моменту;
- розроблено алгоритм керуючої програми;

### Список використаних джерел

1. Вейц В.Л. Электрические зажимные устройства станков и станочных линий– М / В.Л. Вейц, Л.И. Фридман. Изд-во Машиностроение, 1973. – 258 с.
2. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: Учебник. – М.: Academia, 2006, с.153 – 160.

УДК 681.5.013

Полудневич А. Ю.

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

## РОБАСТНЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОДАЧ ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНОГО ВЕРСТАТА

Основа будь-якого підприємства – верстатний парк, тому оновлення і модернізація старих верстатів на сьогоднішній день питання першорядної важливості для більшості виробництв. Обладнання на основі релейної логіки, вироблене в 60х-70х роках минулого століття, втратило актуальність і стає характерною причиною зупинки виробничого процесу і колосальних матеріальних втрат власників підприємств. Варто відзначити, що механічні характеристики подібного обладнання цілком відповідають якісним вимогам сьогодення, а електричні складові потребують повного оновлення.

Метою роботи є модернізація системи керування електропривода подач токарно-гвинторізного верстата моделі 1В625М шляхом заміни існуючої системи керування на робастну систему.

Базова модернізація старих верстатів складається з:

- повної заміни електропроводки агрегату;
- зміни старого електропривода головного руху на сучасний;
- заміни осьових приводів на новітні приводи постійного струму.
- оновлення пускової і регулюючої апаратури.

Модернізація старих верстатів завжди краще і вигідніше, ніж придбання нових. Вартість робіт по поліпшенню основних робочих характеристик верстата, як правило, становить не більше 45-50% від ціни нового з такими ж функціями і можливостями. Подібна економія дозволить ввести в експлуатацію в два рази більше оновленого обладнання на основі модернізаційних робіт із застарілими потужностями підприємства. Модернізоване обладнання відповідатиме сучасним жорстким вимогам щодо якості керування.

Своєчасні заходи з оновлення та вдосконалення верстатів, що стоять на балансі, дозволить:

- збільшити їх надійність;
- підвищити експлуатаційні характеристики;
- підвищити їх точність і розширити функціональні можливості;
- добитися значної економії енергоресурсів.

На ряді промислових підприємств в приводах різного призначення, наприклад, в електроприводах верстатів, використовуються системи тиристорного керування. Вони виконані за принципом підпорядкового регулювання. Такі системи фізично і морально застаріли і в більшості випадків не забезпечують необхідних показників якості при експлуатації, тому вони потребують модернізації. Однак модернізація вимагає значних фінансових витрат. Використання робастних регуляторів у вигляді структури, що складається з типових ланок, в системах тиристорного електропривода дозволяє вирішити цю задачу з мінімальними фінансовими витратами. Для створення регуляторів з таких ланок існує елементна база. Реалізація робастних регуляторів на основі цієї бази дозволяє в найкоротші терміни провести модернізацію тиристорних електроприводів, що знаходяться в експлуатації [1, 2].

Теоретичною основою для розрахунку робастного регулятора служили  $H_\infty$  - теорія робастного керування. Розрахунки проводились із застосуванням програмного продукту MATLAB. Синтез оптимального стабілізуючого регулятора  $K(p)$  проводився методом змішаної чутливості для об'єкта  $P(p)$  з невизначеністю  $\Delta(p)$ .

Якість системи контролювалась за допомогою обраних трьох вагових функцій  $W_1(p)$ ,  $W_2(p)$ ,  $W_3(p)$ , які приєднувалися до об'єкту  $P(p)$ . Використання вагової функції  $W_1(p)$  дозволяє зробити похибку  $e(t)$  достатньо малою в діапазоні низьких частот, а використання вагової функції  $W_3(p)$  зробити вихідний сигнал  $y(t)$  малим у високочастотному діапазоні. Використання вагової функції  $W_2(p)$  дозволяє обмежити потужність сигналу керування  $U(t)$ .

Розрахунок передавальної функції робастного регулятора розраховано в пакеті розширення Robust Control Toolbox програмного продукту MATLAB. Для цього використано  $\gamma$  - ітераційний метод мішаної чутливості. В процесі чисельного рішення була знайдена математична модель  $H_\infty$  - субоптимального робастного регулятора [3-5]. Його передавальна функція  $K(p)$  має вигляд:

$$K(p) = \frac{3.633 \cdot 10^6 p^4 + 8.576 \cdot 10^8 p^3 + 2.843 \cdot 10^{10} p^2 + 4.674 \cdot 10^{11} p + 3.757 \cdot 10^{12}}{p^5 + 8.263 \cdot 10^4 p^4 + 3.875 \cdot 10^7 p^3 + 7.319 \cdot 10^9 p^2 + 2.085 \cdot 10^{10} p + 3.029 \cdot 10^{10}}.$$

Далі виконано перевірку та аналіз перехідних процесів роботи електроприводу. Для конкретного електропривода була побудована структурна схема системи ТП-ЕД, із якої згодом було отримано структурну схему системи ТП-ЕД у просторі станів. На рис. 1 зображено імітаційну модель системи, що побудовано на основі структурної схеми моделювання перехідних процесів, яку перетворено відносно невизначених параметрів, тобто таких параметрів, які можуть змінювати своє значення протягом роботи електропривода. В нашому випадку це коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача  $K_\Gamma$ , індуктивність  $L$ , опір якірного кола  $R$  та момент інерції  $J$ .

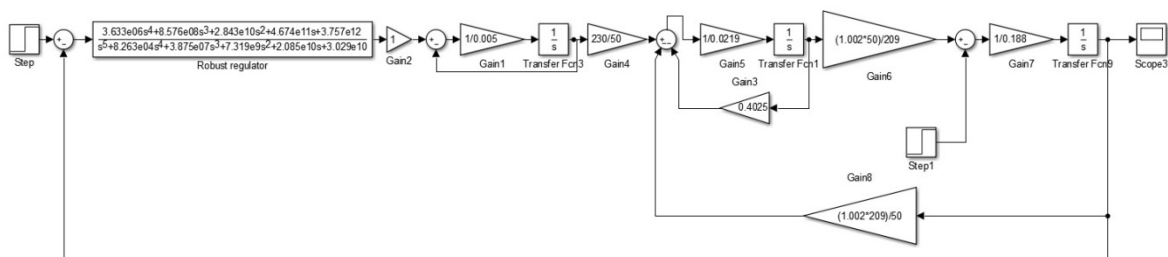


Рис. 1

Результати моделювання перехідних процесів кутової швидкості в пакеті Simulink при одиничній ступінчастій зміні задаючого впливу продемонстровано на рис. 2.

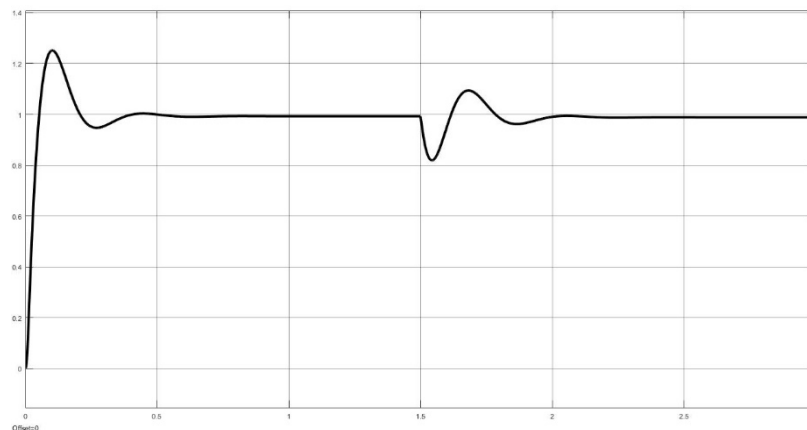


Рис. 2

Запропонований спосіб модернізації електропривода подач токарно-гвинторізного верстата надав змогу замінити коробку передач, яка дозволяла обирати лише декілька швидкостей обробки деталей, робастною системою керування електропривода подач токарно-гвинторізного верстата, що в свою чергу покращило всі експлуатаційні характеристики верстата.

**Висновки.** Запропоновано модернізацію системи керування електропривода подач токарно-гвинторізного верстата, що дозволяє покращити точність обробки і збільшити кількість режимів обробки деталей. Моделювання перехідних процесів показало стійку роботу робастного регулятора при змінних параметрах об'єкта керування. Правильність прийнятих технічних рішень підтверджується отриманими показниками якості керування.

#### Список використаних джерел

1. Хлопенко Н.Я., Хлопенко И.Н. Структурный синтез стабилизирующего робастного регулятора поточесцепления ротора // *Електротехніка і електромеханіка*, 2017. – № 1. – С.21-25.
2. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления / Под ред. Н.Д. Егупова – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744 с.
3. Simulink 4. Специальный справочник - В.Дьяконов., Питер, 2001.
4. Control System Toolbox. Matlab 5 для студентов. - В.Медведев, В.Потемкин, Диалог-МИФИ, 2000.
5. Richard Y., Chiang R., Michael G., Safonov M. MATLAB: Robust Control Toolbox. User's Guide. Version 2, 1998.– 230 p. – Режим доступу: <http://www.mathworks.com>.

УДК 681.5: 621.31

Іванов А. В.

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

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

## КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ СВЕРДЛОВИННОГО НАСОСА

Проблеми переміщення і підйому води (питної, поливальної або дренажної) хвилювали людей від самого початку їх цивілізованого життя. Діючи в той час водопроводи подавали воду, використовуючи силу земного тяжіння. Прикладом цьому можуть служити римські акведуки. Однак, для того, щоб змусити воду рухатися вгору, потрібні спеціальні пристрої, які сьогодні називаються насосами.

Насосні станції є невід'ємною частиною сучасних систем водопостачання. Сучасна насосна станція - це комплекс механічних, електричних і будівельних елементів, призначених для підйому або перекачування води. В насосних станціях найчастіше застосовуються відцентрові насоси з електродвигунами та електромеханічною системою управління[1].

Введення автоматизації управління насосними станціями є одним з найважливіших напрямів технічного прогресу в області подачі і відведення води в населених пунктах і на промислових підприємствах. Автоматизація системи водопостачання за допомогою перетворювача частоти (ПЧ) дає ряд переваг, щодо систем, які застосовувались раніше[2].

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

Для досягнення мети було виконано наступні задачі:

- сформовано функціональну схему системи управління насосом;
- сформовано схему зв'язків між елементами системи управління;
- розроблено принципову електричну схему системи управління;
- розроблено системи частотного керування електроприводом свердловинного насосного агрегата;
- обрано структуру регулятора та визначено його коефіцієнти;
- розроблено алгоритми роботи керуючої програми;
- написано програму керування свердловинним насосом.

#### Список літератури

1. Турк В. И. Насосы и насосные станции / Турк В. И., Минаев А. В., Карелин В. Я. - Москва: Стройиздат, 1976 –87 с.
2. Ключев В. И. Теория электропривода: Учеб. для вузов [Текст] / В. И. Ключев. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.

#### УДК 62-752 (075.8)

*Сілівко В. М., студент гр.6371м*

*Науковий керівник: канд. техн. наук, проф.Гуров А. П.*

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

## КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РЕЗОНАНСНОЮ ВІБРАЦІЙНОЮ МАШИНОЮ

Застосування корисної вібрації становить великий інтерес для багатьох галузей промисловості. Технологічні процеси можуть здійснюватися тільки завдяки використанню вібрації, або ж її застосування значно підвищує інтенсифікацію процесів та якісні показники. На сучасному етапі розвитку технологічних машин спостерігається тенденція до розробки і впровадження енергозбережних технологій і гнучких (швидко переналагоджуваних) технологічних ліній. Добитися мінімального споживання енергії вібраційними технологічними машинами (ВТМ) при оптимальних параметрах технологічного процесу і змінній масі завантаження робочого органу можливо тільки тоді, коли механічна система машини знаходитиметься постійно в стані наближеному до резонансного. Тому доцільним є створення керованих вібраційних технологічних машин резонансного типу, які б могли швидко переналагоджуватися і мали можливість: автоматично змінювати параметри вібраційного поля і підтримувати їх в заданому діапазоні на резонансній робочій частоті, тим самим забезпечуючи мінімальні енергетичні витрати на електропривод. Керування якісними характеристиками вібраційного поля на резонансній частоті можна забезпечити шляхом автоматичної зміни амплітуди і частоти циклічної збуджуючої сили. В сучасній промисловості широке використання отримали вібраційні технологічні машини з електромагнітним приводом, але вони потребують трудомісткого і складного процесу налагодження пружної системи, істотно реагують на масу завантаження робочого органу, яке приводить до значної зміни амплітуди його коливань. Тому актуальним є усунення недоліків, для чого пропонується розробити цифрову адаптивну високоякісну систему автоматичного керування з виходом двохполярної широтно імпульсно модульованої (ШИМ) синусоїдальної напруги, яка проводить коригування частоти збуджуючої сили, забезпечуючи резонансний режим роботи віброустановки при оптимальних параметрах технологічного процесу, що веде до поліпшення енергетичних і динамічних характеристик технологічної машини.

Резонансна настройка пружної системи забезпечує малу витрату енергії при постійній роботі вібропривода, можливість створення ВТМ високої продуктивності, але вимагає значних пускових зусиль через велику жорсткість пружної системи. Резонансна настройка системи набула переважного поширення у віброприводах середнього і важкого типів.

Одна з суттєвих проблем, що виникають при проектуванні резонансних вібромашин, – це складність забезпечення достатньої віброізоляції. Оскільки в одномасовій системі жорсткість віброізоляторів повинна задовольняти умові резонансу, для вирішення цієї проблеми використовують двохмасові, а також трьохмасові резонансні системи]. Але у багатьох випадках такі системи або не забезпечують достатнього обмеження передаваних на фундамент динамічних навантажень, або не дозволяють розвинути високу амплітуду коливань робочого органу. Для задоволення суперечливих вимог забезпечення максимальної амплітуди вібрації при мінімальних зусиллях, передаваних на фундамент, найдоцільніше використовувати резонансні вібромашини в комплексі з керованими віброзахисними системами.

На відміну від пасивних засобів боротьби з вібрацією, таких як віброізоляція, вібродемпфірування і динамічне гасіння, керовані віброзахисні системи використовують енергію додаткового джерела, що дозволяє забезпечити значно велику ефективність зниження рівня коливань. За принципом дії такі системи підрозділяються на активні і автопараметричні. Останні мають значні переваги, які обумовлені тим, що вони, на відміну від актив-

них, використовують енергію додаткового джерела не для створення компенсуючих дій, а для зміни одного або декількох параметрів кінематичної схеми з метою забезпечення необхідної АЧХ об'єкту захисту. Серед автопараметричних систем віброзахисту найбільш перспективними є системи з керованими динамічними віброгасниками (КДВГ).

Для отримання високої амплітуди коливань системи з електродинамічним віброзбудником необхідно застосувати високочастотну пружну коливальну систему. Однак, висока добротність ефективна лише тоді, коли власна частота з високою точністю співпадає з частотою змушуючої сили, при цьому коливальна система стає схильною до зміни резонансної частоти, наприклад при зміні маси навантаження. Вирішенням даної проблеми може стати застосування якісної системи автоматичного керування, яка б утримувала коливальну систему у стані резонансу.

На резонанс можливо впливати параметрами пружної системи, тобто контролюючи жорсткість, а також можливо змінювати резонансну частоту шляхом зміни маси.

Пристрої для зміни жорсткості потребують окремого підходу та розрахунку до кожної конкретної конструкції віброзбудника. Маса в даному випадку є навантаженням вібропривода, яке змінюється і таким чином впливає на резонансну частоту вібраційної системи

Для усунення недоліків машин з електромагнітним приводом необхідно розробити систему керування, яка проводила б адаптацію частоти збуджуючої сили з метою отримання постійного резонансного режиму роботи вібраційної технологічної машини.

Метою роботи є дослідження можливості застосування цифрової адаптивної високоякісної системи автоматичного керування з виходом двохполярної широтно-імпульсно модульованої синусоїдальної напруги, яка автоматично забезпечує резонансний режим роботи вібраційного електропривода при оптимальних параметрах технологічного процесу, веде до поліпшення енергетичних і динамічних характеристик ВТМ.

#### Список використаних джерел

1. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э.Э. Лавендела, 1981. – 509 с.
2. Пассивная и активная виброзащита судовых механизмов / А.Е. Божко, А.Ф. Галь, А.П. Гуров и др. – Л.: Судостроение 1988. – 176 с.
3. Берник П.С., Чубик Р.В., Таянов С. А., "Алгоритм для визначення частоти та амплітуди коливань вібромашин", *Всеукраїнський науково-технічний журнал, "Вибрации в технике и технологиях"*, 2005, №2(40)-С1-6.

#### УДК 62-752 (075.8)

Гавриш О. М., студент гр.6371м

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

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

### СИСТЕМА ВІБРОДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ВЕРСТАТІВ

Вітчизняний і зарубіжний досвід показує, що впровадження засобів діагностування є одним з найважливіших факторів підвищення економічної ефективності використання обладнання в промисловості. Призначення діагностики – виявлення та попередження відмов і несправностей, підтримання експлуатаційних показників у встановлених межах, прогнозування стану з метою повного використання доремонтного і міжремонтного ресурсу.

Одним з методів діагностики і контролю є вібродіагностика.

Вібродіагностика, будучи розділом технічної діагностики, є галузь знань, що включає в себе теорію і методи організації процесів розпізнавання технічних станів машин і механізмів по вихідній інформації, що міститься в віброакустичних сигналах [1, 2, 3].

Основним фізичним носієм інформації про стан елементів працюючого обладнання в вібродіагностиці є віброакустичний сигнал - збірне поняття, що включає інформацію про коливальні процеси (вібраційні, гідро- або газодинамічні та ін.) і акустичний шум механізму в навколишньому середовищі.

Отже вібродіагностиці може піддаватися будь-яке обладнання, функціонування якого супроводжується збудженням коливальних процесів.

Будь-яке відхилення параметрів функціонування обладнання від норми приводить до зміни характеру взаємодії його елементів і до зміни супроводжуваних взаємодією віброакустичних процесів.

Практично миттєва реакція вібросигналу на зміну стану обладнання є незамінною якістю в аварійних ситуаціях, коли визначальним фактором є швидкість постановки діагнозу й ухвалення рішення.

Для підвищення економічної ефективності використання обладнання в промисловості необхідно впроваджувати засоби діагностики. Діагностика необхідна для своєчасного виявлення та попередження відмов і дефектів,



прогнозування подальшого їх розвитку, підтримки експлуатаційних показників у встановлених межах. Це особливо актуально для металорізальних верстатів.

У цьому зв'язку з'являється можливість створення системи комплексного керування точністю (СКУТ), у якій у залежності від характеру і розміру похибки, що утвориться, керування йде по різних каналах, кожний із яких реалізує один з способів діагностики. Відмінною рисою такої СКУТ є те, що верстат, оснащений нею, практично стає інваріантним до зовнішніх збурень, оскільки вони усуваються і компенсуються при опрацюванні. Схема СКУТ приведена на рис. 1.

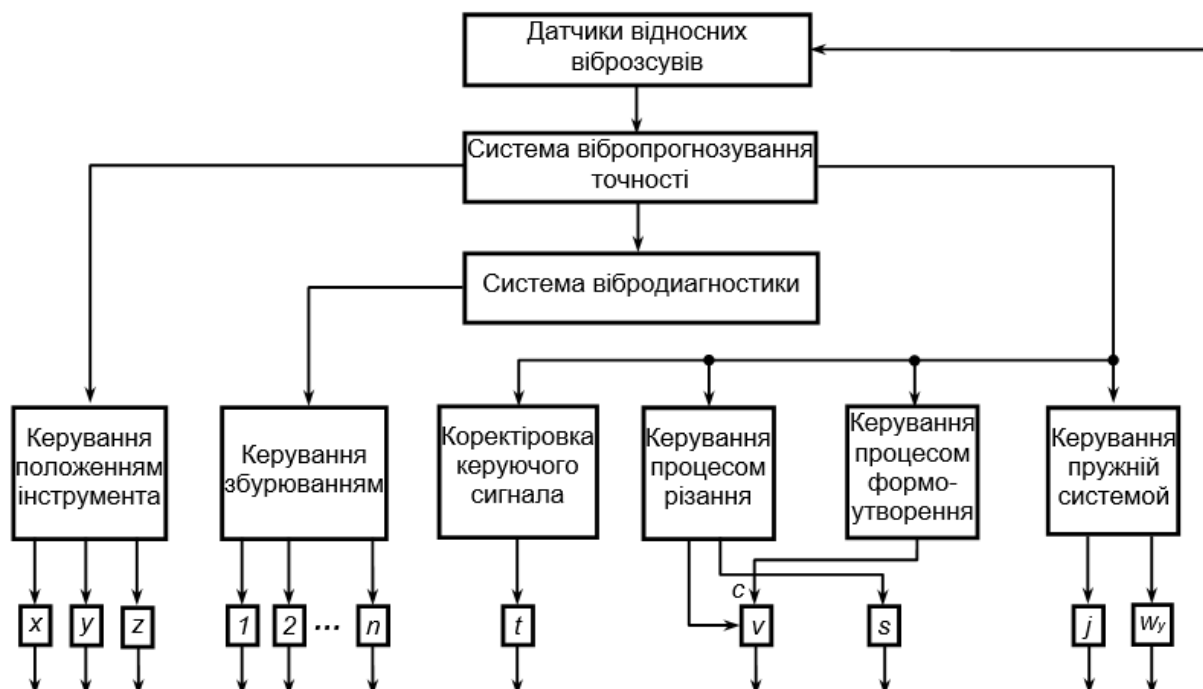


Рис. 1

Інформація з датчика відносних віброзміщень між інструментом і заготовлею спочатку надходить у систему вібропрогнозування точності, де похибки опрацювання квантуються по частотних діапазонах і визначається їхній характер і розмір. Ця інформація використовується для вібродіагностики причин точностних відмов, а також для керування положенням інструмента, процесами різання, формоутворення, упругої системою, а також для коригування керуючого сигналу. За результатами вібродіагностики причин точностних відмов здійснюється керування  $n$  різними збуреннями.

Керування положенням інструмента досягається за рахунок його додаткових мікропереміщень по всіх координатах, процесами різання і формоутворення – за рахунок зміни швидкостей різання  $v$  і подача  $vs$ , упругої системою – за рахунок зміни жорсткості  $j$  або динамічної характеристики  $w_y$  (положення заготівлі в робочому просторі верстата), а коригування керуючого сигналу – за рахунок зміни глибини різання  $t$ . Названі методи керування мають зворотний зв'язок, тому що в остаточному підсумку приводять до зміни відносного положення інструмента і заготівлі.

Вібродіагностиці може піддаватися будь-яке обладнання, функціонування якого супроводжується порушенням коливальних процесів. Вібросигнал несе в собі вичерпну інформацію про стан об'єкта діагностування, та аналіз цього сигналу дозволяє визначити дефекти ще на ранніх стадіях, встановити причину і ступінь розвитку дефекту, прогнозувати подальший розвиток аварійної ситуації. Практично миттєва реакція вібросигналу на зміну стану обладнання є незамінною якістю в аварійних ситуаціях, коли визначальним фактором є швидкість постановки діагнозу й ухвалення рішення.

На даний момент розроблено ряд методів для отримання максимальної кількості інформації з вібросигналу обладнання. Застосування сучасних мікропроцесорних технологій дозволяє створювати потужні і швидкодіючі компактні стаціонарні і переносні системи вібродіагностики при використанні необхідного мінімуму елементної бази. Велика роль в них відводиться розробці програмного забезпечення для обробки даних.

Великого поширення набули переносні системи вібродіагностики, які дозволяють збирати вібраційні дані одним приладом послідовно з цілої групи механізмів та проводити детальну обробку і аналіз отриманих даних в

програмному забезпеченні комп'ютера. Враховуючи що не всі верстати оснащені системами комплексного керування точністю, задача формування переносними системи вібродіагностики є актуальною.

Системи функціональної вібродіагностики, що серійно випускаються різними виробниками, мають обмежений визначений набір функцій та закриті вихідні тексти програм.

В даній роботі розглядається побудова системи функціональної вібродіагностики електромеханічного обладнання для використання в інженерних та науково-дослідних цілях з можливістю розширення функціональності за рахунок вдосконалення апаратної та програмної частин.

#### Список використаних джерел

1. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика механизмов. – М.: Машиностроение, 1987. – 288с.
2. Гуров А.П., Шарейко Д.Ю. Вібродіагностика. Учебний посібник - Миколаїв: УДМТУ. - 2003.-130 с.
3. А. Р. Ширман, А. Б. Соловьев. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. - Ил. 166. Табл.12. Библиогр. Москва, 1996. – 276 с.
4. Александров А.А., Барков А.В., Баркова Н.А., Шафранский В.А. Вибрация и вибродиагностика судового электрооборудования. – Л.: Судостроение, 1986. – 276 с.

#### УДК 681.5.01

Бондар О. В.

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

### РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ГОЛОВНОГО РУХУ МЕТАЛОРИЗАЛЬНОГО ВЕРСТАТА

Метою роботи є розробка системи керування електропривода головного руху токарно-гвинторізного верста-та моделі 1К62. На верстаті 1К62 встановлені чотири трифазні короткозамкнені асинхронні електродвигуни: електродвигун головного привода потужністю 10 кВт типу АО2-52-4Ф2, 1460 об/хв., 220/380 В (ДГ); електродвигун швидкого ходу типу АОЛ2-11-4Ф2 потужністю 0,6 кВт, 1350 об/хв., 220/380 В (ДШХ); електродвигун гідравліки типу АОЛ2-22-6Ф2 потужністю 1,1 кВт, 950 об/хв., 220/380 В (ДГП); електронасос охолодження типу ПА-22 потужністю 0,125 кВт, 2800 об/хв., 220/380 В (ДО). Напруга кола керування керування 127 В, напруга місцевого освітлення 36 В. Базову електричну схему металорізального верста-та 1К62 наведено на рис. 1.

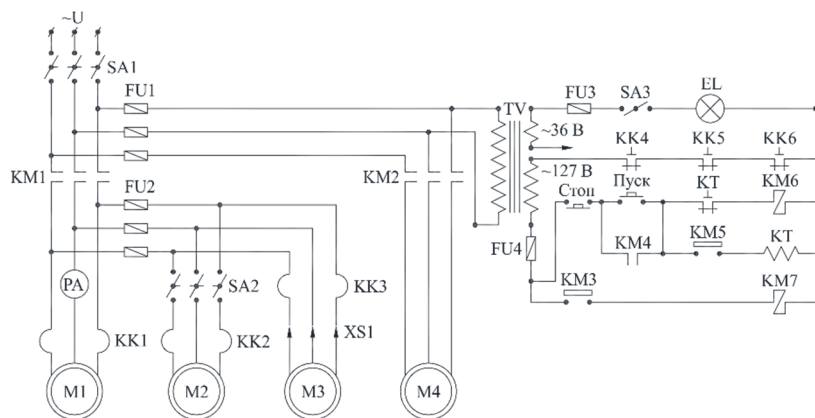


Рис. 1

Запропоновано використати систему векторного керування [1-3] замість застарілої релейно-контакторної системи керування, проведено порівняльний аналіз існуючої та запропонованої систем керування, проаналізовано математичну модель розробленої системи. Проведено вибір і розрахунок основних елементів системи, зокрема, застарілий електродвигун замінено на новий сучасний RA160MA4, обрано перетворювач частоти VFD150B23A. Результати моделювання динаміки розробленої системи представлено на рис. 2.

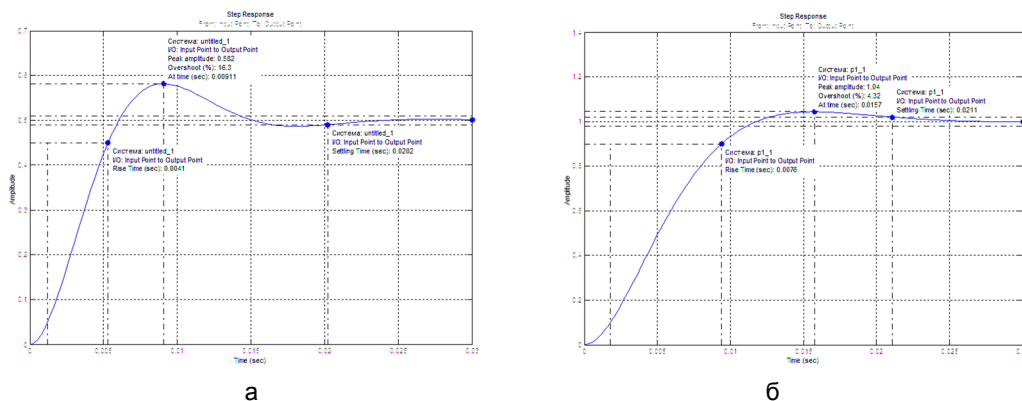


Рис. 2

**Висновки.** В роботі розроблено систему керування електропривода головного руху металорізального верстата 1К62. Проведено вибір і розрахунок основних елементів системи, зокрема, застарілий електродвигун замінено на новий сучасний RA160MA4, обрано перетворювач частоти VFD150B23A. Досліджено динаміку розробленої системи та отримано задовільні показники якості керування.

#### Список використаних джерел

1. Аркадьев В.Ю. Проектирование по теории автоматического управления. – Херсон: Херсонский государственный технический университет [Текст] / В.Ю. Аркадьев, А.И. Папченко, А.Г. Попруга, В.П. Боярчук. – Херсон: ХГТУ, 2002 г. – 272 с.
2. Терехов В.М. Системы управления электроприводов [Текст] / В.М. Терехов. – М.: Академия, 2005 г. – 300 с.
3. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями [Текст] / А.А. Усольцев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006 г., – 94 с.

#### УДК 681.5

Шарп С. А.

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

### ПЕРСПЕКТИВНИЙ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД НА БАЗІ СИНХРОННОГО ДВИГУНА З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ

Проблеми енергозбереження є одними з найбільш гострих і актуальних для промисловості України. Головним споживачем електроенергії та важливим елементом більшості технологічних механізмів виступає електропривод. Ефективність його керування, надійність роботи та енергетичні показники значною мірою визначають ефективність всього виробничого процесу.

Останнім часом масового поширення набуває частотно-регульований електропривод змінного струму. Частотно-регульований привод являє собою спеціальну систему, основним призначенням якої є регулювання частоти обертання ротора синхронного або ж асинхронного електричного двигуна. До складу системи входить сам двигун, що працює на електричній енергії, і перетворювач частоти. Такі системи характеризуються високою надійністю та енергетичними показниками, а регулювання змінних відкриває нові можливості для виконання різних технологічних процесів [1]. Найбільш перспективним серед них вважається електропривод на базі синхронних двигунів з постійними магнітами (СДПМ). Це обумовлено тим, що обраний тип електромеханічного перетворювача енергії має просту і надійну конструкцію, високу питому потужність, коефіцієнт корисної дії (ККД), а також не потребує постійного обслуговування. Тому постановкою задачі дослідження є вибір та побудова системи керування СДПМ, яка забезпечить цілу низку характеристик електропривода, серед яких, одними з головних, є забезпечення підвищення ефективності та точності керування.

СДПМ все більше поширюється на області, де традиційно застосовувалися двигуни постійного струму (ДПТ) або АД, таких, як привод циркулярних насосів, привод компресорів в холодильній техніці, системах вентиляції, бурових установках, видобутку нафти. Причинами цього є існуюча тенденція до зменшення вартості магнітних матеріалів (впровадженням сплавів рідкоземельних металів), а також вдосконалення апаратної бази керування. Поява відповідної перетворювальної і цифрової обчислювальної техніки дозволяє застосовувати СДПМ як альтернативу ДПТ в регульованому електроприводі. Істотний поштовх дало впровадження перетворювачів на транзисторах з ізолюваним затвором (Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)) і використання принципів ШІМ (Pulse Width Modulation (PWM)) [2].

Спрямованість розвитку принципів керування СДПМ в основному обумовлюється розвитком апаратної бази привода: параметрами самого двигуна, типом перетворювача, наявністю датчиків кута повороту і (або) швидкості, обчислювальною потужністю контролера.

Наявність/відсутність датчиків магнітного стану та координат механічного руху (швидкості, положення ротора) є принциповим для побудови системи керування СДПМ. З цією ознакою методи керування СДПМ можна поділити на керування з використанням датчика положення ротора (ДПР) і на керування без його використання, яке отримало назву «бездатчикового керування».

У класичному електроприводі на основі СДПМ на валу двигуна встановлюється ДПР. В якості датчика можуть застосовуватися датчик Холла, енкодер, резольвер, редуктосін і ін. Система керування в цьому випадку відносно проста, але ускладнюється конструкція двигуна, що знижує надійність системи.

Значні успіхи в області сучасної теорії автоматичного керування, особливо розвиток спостерігачів стану, привели до появи бездатчикових електроприводів. У таких системах ДПР відсутній, а необхідна інформація для реалізації алгоритму керування, надходить з спостерігача стану. Особливу роль бездатчикові системи грають в тих електроприводних системах, де установка ДПР фізично неможлива. Перевагами бездатчикових систем є надійність, дешевизна, компактність.

Методи побудови самих систем керування для СДПМ також відрізняються різноманітністю. Різні способи керування СДПМ представлені на рисунку 1.

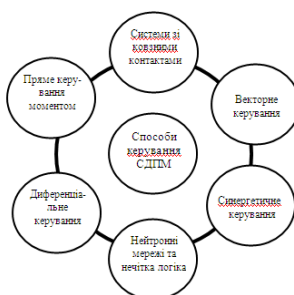


Рис. 1

Найпоширеніші методи для керування СДПМ – пряме керування моментом і векторне керування. Система з прямим керуванням моментом краще відпрацьовує керуючі і збурюючі впливи. Також векторне керування поступається прямому керуванню моментом через низку стійкості до зміни параметрів і вимагає використання більш складної системи ШІМ. Але, векторне керування має перевагу в статичних режимах: нижче витрати обчислювальних ресурсів і менший рівень пульсацій. Тому такі системи кращі в електроприводах при малих збуреннях навантаження і більш стабільному керуванні [3].

**Висновки.** СДПМ є перспективним двигуном, який знаходить застосування в промислових системах автоматизації, роботах і маніпуляторах, приводах подачі і головного руху металорізальних верстатів, координатних пристроях, прецизійних системах стеження і наведення, в тяговому електроприводі, приводах рульового керування літальних і підводних апаратів, електромеханічних пристроях автомобілів, в побутових пристроях. Також СДПМ активно поширюється на області, де традиційно застосовувалися ДПС або АД.

В якості методу керування вибрано бездатчикове векторне керування СДПМ, що забезпечує необхідні динамічні і енергетичні показники якості керування, а також дозволяє підвищити енергоефективність електроприводу за рахунок мінімізації струму статора і надійність за рахунок відмови від ДПР.

#### Список використаних джерел

1. Частотно-регулируемый привод // ЭЛЕКТРОНМАШ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.electronmash.ru/chastotno-reguliruemyy-privod>.
2. Корельский В., Потапенко Е.М., Васильева Е.В.. Обзор современных методов управления синхронными двигателями с постоянными магнитами./ Научный журнал «Радиоэлектроника. Информатика. Управление», 2001. - С. 155-159.
3. Абд Эль Вхаб А. Р., Каракулов А.С., Дементьев Ю.Н., Кладиев С.Н. Сравнительный анализ векторного управления и прямого управления моментом синхронного электродвигателя с постоянными магнитами. // «Известия Томского политехнического университета» – 2011, Т. 319, №4. С– 93–99.

## УДК 629.584

*Волянський С. М., к.т.н., доцент кафедри ЕІС та РК, Біленький О. О., аспірант, Гненний Д. С.,  
Жила Ю. Ю., Янгузаров О. В.*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

## ОГЛЯД І АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

Електроенергія є одним з найважливіших продуктів у індустріальному суспільстві. Дослідження показали, що середній прибуток, тривалість життя та інші важливі фактори рівня життя пов'язані зі споживанням електроенергії на душу населення в окремому регіоні чи в країні в цілому. Як і всі природні ресурси, енергетичні ресурси можуть виснажитися, тому важливо заощаджувати якомога більшу кількість енергії. Збереження електричної енергії є важливою частиною загальної тенденції щодо захисту навколишнього середовища. Можна виділити наступні напрямки економії електричної енергії на виробництві:

- економія електроенергії зменшенням її втрат;
- енергозбереження засобами електропривода;
- економія електроенергії методами компенсації реактивної потужності;
- економія електроенергії при експлуатації електрообладнання [1, 4].

Основний спосіб зниження споживання електроенергії – її економія за рахунок зменшення втрат електроенергії в системах електропостачання (трансформаторах, лініях), а також за рахунок раціоналізації та вдосконалення технологічного процесу споживання електроенергії електродвигунами. Зменшення втрат електроенергії в трансформаторах можна досягти шляхом правильного вибору числа потужності трансформаторів; раціонального режиму їх роботи; виключення холостого ходу при малих навантаженнях. Для зменшення втрат в лініях живлення необхідно зменшити протікаючий через них струм. Це можливо при використанні резервних та паралельно працюючих ліній, а також при підвищенні напруги в мережі. Особливе значення для економії електроенергії мають питання зниження електричного навантаження цеху в години максимуму енергосистеми.

Отже, глибоке дослідження питань підвищення енергетичної ефективності електропривода разом із удосконаленням систем енергозберігаючого керування і методів проектування є актуальним, становить науковий інтерес і має практичне значення для економіки України.

В даний час основним споживачем електроенергії, близько 80 % від електроенергії, що виробляється, є електропривод. Частка асинхронного електроприводу, в приводі машин і механізмів, складає близько 75 % з тенденцією до постійного збільшення. Енергозбереження в електроприводі є частиною загального процесу ефективного використання електроенергії і визначається трьома процесами: енергоспоживанням; енерговикористанням споживаної енергії; енергоуправління процесу енергоспоживання [2, 3].

Суттєвою альтернативою при керуванні технологічними процесами в агрегатах з асинхронними приводами може бути регулювання швидкості їх двигунів. З позиції теорії електричних машин та електропривода основним і найбільш економічним способом регулювання швидкості асинхронного двигуна є частотне керування ним. Для реалізації частотного способу регулювання швидкості застосовують перетворювачі частоти.

Ще один з напрямків економії електроенергії – це компенсація реактивної потужності, яка дає можливість отримати значну економію енергетичних ресурсів і є частиною вирішення загальної проблеми підвищення ККД роботи систем електропостачання та поліпшення якості електроенергії. Найбільш дієвим і ефективним способом зниження споживаної з мережі реактивної потужності є застосування установок компенсації реактивної потужності (конденсаторних батарей, синхронних двигунів і синхронних компенсаторів). Компенсуюча здатність синхронного двигуна визначається навантаженням на його валу, напругою, підведеною до його затисків, та струмом збудження [4].

При використанні для компенсації реактивної потужності конденсаторних установок, їх режим роботи повинен виключати можливість роботи підприємств із випереджальним коефіцієнтом потужності. У зв'язку із цим найдоцільнішим є застосування автоматичного регулювання потужності конденсаторних установок з використанням регулятора коефіцієнта потужності DCRK / DCRJ – це цифровий пристрій, який виконує функції контролю і регулювання реактивної потужності системи і здійснює зчитування показів коефіцієнта потужності з високою точністю, на яку не впливають зміни властивостей електронних компонентів.

Показано, що перехід від нерегульованого електроприводу до регульованого є одним з основних шляхів енергозбереження в електроприводі, саме тому, що застосовується до електроприводів допоміжних механізмів. Особливе становище відцентрових механізмів пояснюється їх масовістю, великою потужністю, і як правило, тривалим режимом роботи.

Виконано аналіз режимів роботи насоса при постійній і регульованій швидкості. Дані показують, що регульований електропривод дозволяє значно скоротити витрати споживаної електроенергії: до 66 % в першому і до 41 % у другому випадку. Проведено розрахунок доцільності застосування перетворювача частоти в електроприводах допоміжних механізмів.

### Список використаної літератури

1. Браславский, И. Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений [Текст] / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков; под ред. И.Я. Браславского. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.
2. Закладний, О. М. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник [Текст] / О. М. Закладний, А. В. Праховник, О. І. Соловей. – К: Кондор, 2005. – 408 с.
3. Попович, М. Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи [Текст]: навч. посібник / М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, В. Б. Клепиков; під ред. М. Г. Поповича та О. Ю. Лозинського. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
4. Стогній, Б. С. Розробка енергетичної стратегії України на період до 2030 року та дальшу перспективу [Текст] / Б. С. Стогній // Енергоефективність – 2002: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 29-30 жовтня 2002 р. – Київ, 2002. – С. 28–30.

### УДК 629.584

*Волянська Я. Б. доцент, к.т.н., Підлубний Д. О., аспірант, Казаков Є. С. магістр, Комаров О. І., Лапенко В. М.,*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв*

## ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

За останні роки розвернулося різнобічне теоретичне та експериментальне вивчення надійності складних систем, що сприяло швидкому формуванню теорії надійності як нового розділу знань. У розробку теорії надійності залучається все більше коло математиків та спеціалістів технічного профілю [1, 7].

Для сучасного етапу розвитку проблеми надійності суднового електрообладнання (СЕО) принципово новим є кількісний підхід до її вирішення на відміну від суто якісної сторони надійності СЕО, що існувала раніше. Більш відчутні результати при проектуванні надійних суднових систем і наукової організації їх використання, які можуть бути отримані шляхом моделювання процесів функціонування таких систем за допомогою використання сучасного спеціального програмного забезпечення. Великою перевагою цього методу крім його універсальності і швидкодії є те, що вже на початковій стадії розробки досліджуваної системи (тобто до проведення будь-яких розрахунків) проектувальнику доводиться глибше продумувати всі зв'язки і відносини, що існують в системі, ясніше представляти її сильні та слабкі сторони, а також ті елементи, які можуть визначати надійність всієї системи [2, 8].

Таким чином, проблема необхідності розрахунку показників надійності суднового електрообладнання та пошуку кращих шляхів удосконалення технічної експлуатації суднових систем є сучасною, актуальною і має суттєве значення для всіх без винятку суднових систем, установок, пристроїв та апаратури.

Сьогодні існує декілька методів розрахунку надійності СЕО. Логіко-імовірнісних методи – методи, при яких структура СЕО та особливості його функціонування описуються засобами математичної логіки, а кількісна оцінка надійності здійснюється за допомогою теорії ймовірностей [3–4].

У літературі досить докладно описана модель функціонування системи, яка використовується для дослідження надійності системи з розгалуженою структурою, яка може перебувати лише у двох характерних станах: у стані повної працездатності ( $y = 1$ ) і в стані повної відмови ( $y = 0$ ). При цьому передбачається, що дія системи детерміновано залежить від дії її елементів, тобто що  $y$  є функцією  $x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_m$ , які в свою чергу можуть знаходитися також тільки в двох несумісних станах: або в стані повної працездатності ( $x_k = 1$ ), або в стані повної відмови ( $x_k = 0$ ). В цілому це припущення є до певної міри умовним і обмежувальним, так як воно виключає (хоча і не повністю) можливість часткового функціонування системи. Однак воно володіє тією перевагою, що призводить до моделі, яка має строге аналітичне рішення до того ж є досить реальною [5].

Метод розрахунку надійності СЕО за допомогою алгоритму розрізання – цей алгоритм заснований на теоремі розкладання алгебри логіки, згідно з якою функція алгебри логіки шляхом винесення будь-якої змінної та її заперечення може бути представлена у вигляді

$$y(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_m) = x_i y_1(x_1, x_2, \dots, 1, \dots, x_m) \vee x'_i y_0(x_1, x_2, \dots, 0, \dots, x_m). \quad (1)$$



Таким чином, якщо аргумент  $x_i$  функції у спільному є двійковою змінною, то шляхом перетворення (1) переходимо до диз'юнкції двох несумісних висловлювань, причому в перше висловлення аргумент  $x_i$  входить своїм твердженням, а в друге запереченням  $x_i'$ .

Схемно-логічний метод розрахунку надійності CEO, заснований на узагальненій теоремі розкладу довільної функції алгебри логіки (ФАЛ) з будь-яких аргументів

$$f(x_1, \dots, x_i, x_{i+1}, \dots, x_m) = \vee x_1^{\alpha_1} x_2^{\alpha_2} \dots x_i^{\alpha_i} f(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, x_{i+1}, \dots, x_m) \quad (2.2)$$

і використанні спеціальної релейно-контактної схеми (РКС), що є наочною графічною моделлю умов працездатності досліджуваної системи.

Використання схемно-логічного методу перетворення ФАЛ для розрахунку надійності CEO дає можливість знайти ймовірність безвідмовної роботи системи значно швидше, ніж застосування попередніх методів. Це пояснюється тим, що в даному методі використовується розкладання повторної ФАЛ не по одній букві, а відразу по цілій комбінації повторюваних аргументів, і, крім того, всі перетворення проводяться за РКС, що дає можливість уникнути багатьох проміжних перетворень, неминучих при інших методах ортогоналізації [4–6].

Сформульовано алгоритм схемно-логічного методу перетворення ФАЛ для розрахунку надійності CEO. Проведено розрахунки надійності CEO за допомогою схемно-логічного методу. Крім того, проведено розрахунок оптимізації обслуговування елементів місткової структури CEO. Значення після оптимізації складає близько 0,9, що свідчить про високий рівень надійності.

#### Список використаної літератури

1. Апалонский, С. М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Текст]: учеб. пособие / С. М. Апалонский, Ю. В. Куклев. – М.: Изд-во «Лань», 2011. – 296 с.
2. Зорин, В. А. Надежность машин [Текст] / В. А. Зорин, В. С. Бочаров. – Орел.: Изд-во ОрелГТУ, 2003. – 549 с.
3. Козлов, В. Г. Теория надёжности [Текст] / В. Г. Козлов. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2004. – 138 с.
4. Кузнецов, Н. Л. Надежность электрических машин: учеб. пособие [Текст] / Н. Л. Кузнецов. – М.: изд. Дом МЭИ, 2012. – 432 с.
5. Проников, А. С. Параметрическая надежность машин [Текст] / А. С. Проников. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 560 с.
6. Разгильдяев, Г. И. Надежность электромеханических систем: учеб. пособие [Текст] / Г. И. Разгильдяев. – Кемерово: Куз ГТУ, 2011. – 157 с.
7. Kaboli, S. Reliability in Power Electronics and Electrical Machines: Industrial Applications and Performance Models [Text] / Sh. Kaboli, H. Oraee. – IGI Global, USA, 2016. – 481 с.
8. Puvan, A. Winding Concepts for Ultra Reliable Electrical Machines [Text] / A. Puvan, D. Barater, T. Hamiti, Ch. Gerada // Power Electronics, Machines and Drives (PEMD) 9th IET International Conference on, 2015. – p. 1–6.

УДК 621. УДК 681.5; 621.3.067

Андрощук Д. В., Оружак І.В.

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

## АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИМІЩЕННЯ

Невід'ємною частиною життєзабезпечення діяльності людини є системи вентиляції приміщень, які забезпечують оптимальний склад повітряного середовища шляхом видалення утворених теплових, газових та вологих надлишків та додавання необхідної кількості свіжого та чистого повітря [1].

Якісну та надійну роботу цих систем може забезпечити тільки правильно спроектована, змонтована та налагоджена система автоматичного керування, основною частиною якої є електропривод вентилятора. Якісна робота системи вентиляції та точність підтримання складу повітря багато в чому залежать від правильно обраних параметрів налагодження регуляторів.

Для підвищення ефективності автоматизованого електропривода системи вентиляції запропонована система керування на базі частотного перетворювача MICROMASTER 420, що реалізує частотно - струмове керування швидкістю асинхронного двигуна [2].

Ця система забезпечує:

- цифрове мікропроцесорне керування;  
- пряме керування потоком двигуна, для поліпшення динамічних характеристик і оптимального управління двигуном;

- компенсація ковзання;
- автоматичний повторний запуск при зникненні напруги в мережі або порушеннях режиму роботи;
- просте регулювання процесу завдяки вбудованому ПІ – регулятору;
- час розгону і гальмування в межах від 0 ... 50 с;
- згладжування кривої пуску;
- швидкодіюче струмообмеження для безаварійної роботи;
- швидкодіюче опитування цифрових входів;
- точне введення заданого значення завдяки 10-бітовому аналоговому входу;
- комбіноване гальмування для контрольованої швидкої зупинки.

Виконаний аналіз динаміки (див. рис. 1) запропонованої системи керування показав, що система здатна забезпечувати необхідні робочі характеристики вентилятора.

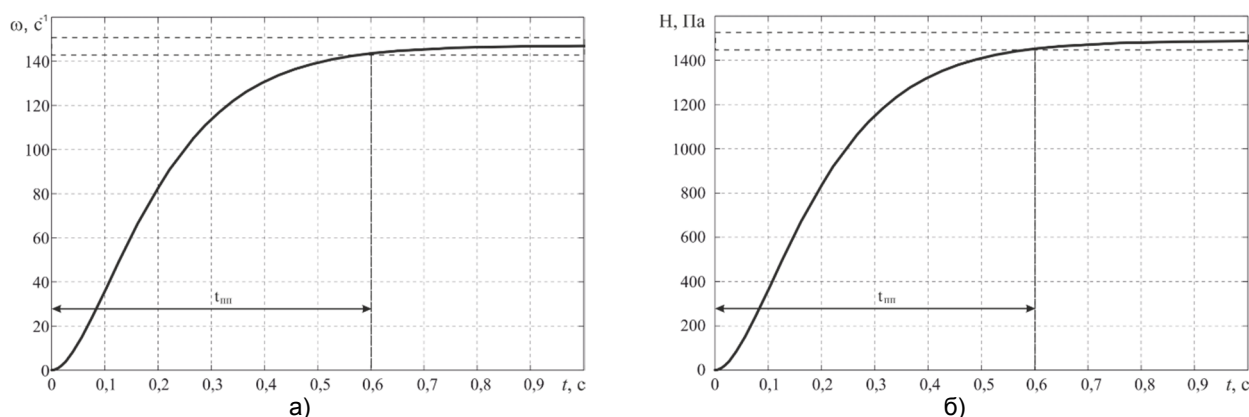


Рис. 1 Робочі характеристики вентилятора:

а) Графік перехідного процесу швидкості двигуна; б) Графік перехідного процесу повного тиску вентилятора

#### Список використаних джерел

1. Ананьев, В.А. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика [Текст] / Ананьев В.А., Балужева Л. Н., Гальперин А. Д., Городов А. К., Еремін М. Ю., Звягинцева С.М., Мурашко В. П., Седых И. В. – Изд. 3-е. — М.: Евроклимат, 2001г. — 416 с.
2. Перетворювачі MICROMASTER [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.siemens.org.ua/>.

УДК 621. УДК 681.5; 621.3.067

Діденко Я. В., Оружак І. В.

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

## АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ПОДАЧ ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА

До електроприводів подач вертикально-фрезерних верстатів пред'являються підвищені вимоги по швидкості і точності переміщення шпинделя. Більшість таких верстатів не задовольняє цим вимогам внаслідок фізичного і морального зносу і низької якості систем керування. Підвищення плавності і точності переміщення шпинделя з мінімальними витратами може бути досягнуто за рахунок модернізації системи керування електроприводом подач та точного підбору її параметрів налагодження. Від якості роботи системи керування електропривода подач залежить точність виготовлення деталі.

Успішному розв'язанню задачі модернізації електроприводів верстатів сприяє використання комплектних електроприводів на базі перетворювачів частоти, що забезпечує економію енергоресурсів за рахунок точного урахування особливостей роботи виконавчих механізмів і поліпшення умов роботи електродвигунів. Крім того досягається збільшення терміну служби технологічного устаткування та зменшення витрат на його ремонт. Простота введення в експлуатацію перетворювачів частоти дозволяє значно підвищити продуктивність виробництва та знизити кількість необхідного устаткування на одиницю продукції [1].

У повідомленні розглянуто застосування перетворювача частоти Lenze для модернізації системи керування електропривода подач. Запропонований перетворювач частоти реалізує частотне керування частотою обертання асинхронного двигуна. Він має наступні основні функції: 1) пуск та регулювання швидкості двигуна; 2) прискорен-

ня, сповільнення та зупинка двигуна; 3) захист двигуна та перетворювача [2].

Проведено синтез, розроблена імітаційна модель та отримані перехідні характеристики запропонованої системи керування. Виконано порівняльний аналіз показників якості роботи базового електропривода постійного струму та модернізованого асинхронного з застосуванням частотного перетворювача.

Аналіз динаміки системи керування показав, що система здатна відпрацьовувати зміни навантаження при роботі електропривода та забезпечити точне регулювання швидкості.

**Висновки.** Застосування асинхронного комплектного електропривода на базі частотного перетворювача для модернізації електропривода подач дозволяє: 1) керувати роботою електропривода в програмному режимі; 2) підвищити точність регулювання частоти обертання електропривода; 3) збільшити строк служби устаткування; 4) зменшити масогабаритні показники системи керування.

#### Список використаних джерел

1. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов — М. : Академия, 2007. — 576 с.
2. Приводная техника в Украине Lenze [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.lenze.org.ua/>.

**УДК 621. УДК 681.5; 621.3.067**

*Кузьмін М.В., Оружак І.В.*

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

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОДАЧ ВЕРТИКАЛЬНО-СВЕРДЛИЛЬНОГО ВЕРСТАТА

Точність виготовлення деталі на металорізючих верстатах багато в чому залежить від якості роботи системи керування електропривода подач. До цих електроприводів надаються підвищені вимоги щодо плавності і точності переміщення робочого органу.

Одним з способів успішного розв'язанню цієї задачі є застосування модального регулятора [1]. Система керування комплектного електропривода з модальним регулятором забезпечує такі бажані показники якості роботи електропривода.

- перерегулювання, яке характеризує рівень демпфування системи або плавність руху робочого органу;
- час перехідного процесу, який характеризує швидкість системи;
- жорсткість або статизм механічної характеристики електропривода.

У повідомленні наведено результати синтезу модального регулятора з спостерігачем для електропривода подач вертикально-свердлильного верстата. Розроблено структурну схему системи керування та виконано імітаційне моделювання. Представлена модель спостерігача дозволяє оцінити усі зміни стану фазового вектору, а також визначити момент опору без застосування датчика і апаратури для його виміру.

Аналіз динаміки системи керування показав, що система здатна відпрацьовувати зміни навантаження при роботі електропривода та забезпечити плавне регулювання швидкості (див. рис. 1).

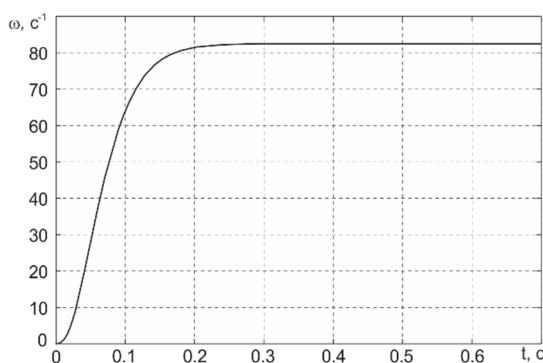


Рис. 1 – Перехідний процес кутової швидкості електропривода

#### Список використаних джерел

1. Хлопенко М.Я. Оптимальне керування об'єктами: Навчальний посібник / М.Я. Хлопенко, І.С. Білюк, В.В. Шевченко. – Миколаїв: НУК, 2013. – 172с.

**УДК 621. УДК 681.5; 621.3.067***Фудар М. М.**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

## **СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ГОЛОВНОГО РУХУ МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ВЕРСТАТА**

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

У повідомленні розглянуто застосування векторної системи керування для модернізації електропривода головного руху металорізального верстата. Запропонована система керування забезпечує: високу точність регулювання швидкості; плавний старт і плавне обертання двигуна у всьому діапазоні частот; швидку реакцію на зміну навантаження (при зміні навантаження практично не відбувається зміни швидкості); збільшений діапазон управління і точність регулювання; зниження втрат на нагрів і намагнічування, підвищення ККД електродвигуна.

Розроблено структурну схему системи векторного керування. Виконано розрахунок параметрів структурної схеми. Розроблено схему імітаційного моделювання перехідних процесів в системі векторного керування електропривода головного руху координатно-розточувального верстата верстата. Встановлено, що показники якості перехідного процесу задовольняють вимогам технологічного процесу.

### **Список використаних джерел**

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

**УДК 621. УДК 681.5; 621.3.067***Явтушенко В. В.**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

## **СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОДАЧ КОНСОЛЬНО- ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА**

Для керування складними технологічними комплексами та електроприводами промислових установок широко використовують багатоконтурні системи з декількома зворотними зв'язками з проміжними змінними [1]. Найбільш поширені в сучасному регульованому електроприводі так звані системи підпорядкованого регулювання.

Система підпорядкованого регулювання являє собою багатоконтурну систему з каскадним включенням регуляторів. Число регуляторів та контурів регулювання в такій системі дорівнює числу величин, які підлягають регулюванню. Назва системи пояснюється тим, що вихідний сигнал регулятора, який включено до зовнішнього контуру, є задаючим для регулятора, що включений до внутрішнього контуру, тобто один регулятор підпорядкований другому. Важливою перевагою системи є те, що настройка контурів проводиться незалежно і послідовно від внутрішнього контуру до зовнішнього. Під час розрахунку систем підпорядкованого регулювання для оптимізації амплітудної частотної характеристики користуються двома критеріями – модульним (технічним) оптимумом (МО) та симетричним оптимумом (СО). Особливий інтерес викликає налагодження регуляторів з урахуванням особливостей роботи верстата.

В повідомленні наведено результати синтезу системи керування електропривода подачі консольно-фрезерного верстата. Отримано математичну модель та виконано розрахунок параметрів налагодження регуляторів струму та швидкості електропривода з урахуванням експлуатаційних особливостей роботи верстата. Виконано імітаційне моделювання синтезованої системи.

Показано, що запропонована система керування електропривода забезпечує вимагаємі показники якості перехідних процесів.

### **Список використаних джерел**

1. Попович, М.Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи [Текст] / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков – К.: Либідь, 2005. – 680 с.

**УДК 681.5***Ду Сінь, Рогожинський В. В., Гаврилов С. О.**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв***СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА В MATLAB**

Останнім часом частотно-регульований електропривод змінного струму і, перш за все, асинхронний електропривод став головним типом регульованого промислового електропривода, що серійно випускається провідними вітчизняними та зарубіжними електротехнічними фірмами [1]. Перш за все, це пов'язано з досягненнями в області силовій електроніці і мікропроцесорної техніки. Сучасні перетворювачі частоти забезпечують керування асинхронними короткозамкненими двигунами з енергетичними і динамічними показниками, порівнянними або переважаючими показники інших приводів.

Успіхи в розвитку мікропроцесорної техніки, в силовій електроніці привели до створення принципово нових засобів і методів побудови електромеханічних систем. Сьогодні особлива увага приділяється побудові систем керування електроприводів, структура яких містить пристрої цифрової техніки. Це особливо важливо, оскільки в найближчому майбутньому очікується перехід повністю до цифрових систем керування. Крім того, у зв'язку з повсюдним розвитком сучасних комп'ютерних технологій істотно змінилися підходи до вирішення проблем проектування систем керування електроприводів. Прикладні пакети MATLAB, DesignLab, WorkBanch, OrCad, VisSim та ін., використовувані для дослідження і проектування електромеханічних систем, дозволили якісно змінити та істотно розширити можливості проектувальника. Одним з найбільш перспективних прикладних пакетів заслужено вважається пакет MATLAB з широко розвиненими розширеннями Toolboxes і пакет Simulink зі своїми розширеннями Blocksets.

Метою роботи є синтез цифрового регулятора асинхронного електропривода в MATLAB.

Для синтезу цифрового регулятора зазвичай використовують кілька методів [2]:

- безперервна передавальна функція об'єкта керування переноситься з  $s$ - в  $z$ -площину (дискретизується), далі відбувається синтез регулятора у  $z$ -площині;
- у випадку, коли передавальна функція об'єкта керування початково представлена у дискретному вигляді, синтез регулятора проводиться одразу в  $z$ -площині;
- виходячи із заданих часової або частотної характеристик та відомої передавальної функції об'єкта керування, проводиться синтез регулятора і остаточний результат переноситься в  $z$ -площину.

В даній роботі процедуру синтезу регулятора проведено з використанням пакета MATLAB і спеціально розробленої програми. Алгоритм роботи програми містить такі основні етапи:

- визначення дискретної передавальної функції з безперервної математичної моделі асинхронного електродвигуна [3];
- синтез цифрового регулятора безпосередньо у  $z$ -площині;
- побудова перехідної характеристики асинхронного електропривода з цифровим регулятором;
- генерація коду для програмованого логічного контролера відповідно до стандарту IEC 61131.

Оскільки практична реалізація алгоритму керування цифрового регулятора передбачає застосування мікропроцесорного пристрою, при побудові моделі асинхронного електропривода в MATLAB враховано основні нелінійності, що виникають при використанні в якості керуючого пристрою програмованого логічного контролера. Для визначення оптимальних параметрів регулятора в роботі використано підхід [4].

На заключному етапі проектування на базі математичної моделі асинхронного електропривода з цифровим регулятором за допомогою Simulink PLC Coder згенеровано вихідний код в структурованому текстовому форматі, а далі використано інтегровану середу розробки (IDE) для компіляції коду і запуску його на програмованому логічному контролері.

**Висновки.** Виконано порівняльну оцінку результатів синтезу цифрового регулятора запропонованим методом і традиційним аналітичним методом. Проведені дослідження показали, що використання пакету MATLAB та розробленої програми спрощує процес розрахунку параметрів цифрових регуляторів асинхронного електропривода, зменшує трудомісткість і скорочує час синтезу. Разом з тим запропонований алгоритм є універсальним і дозволяє досить просто здійснити синтез цифрових регуляторів для систем з об'єктами керування різної природи. Роботу асинхронного електропривода з цифровим регулятором перевірено шляхом математичного моделювання, а запропонований алгоритм синтезу рекомендовано до практичного використання під час курсового та дипломного проектування, в інженерній практиці.



**Список використаних джерел**

1. Козярук, А. Е. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов [Текст] / А. Е. Козярук, В. В. Рудаков. – С-Петербург. Изд. Санкт-Петербургской Электротехнической компании, 2004. – 128 с.
2. Ibrahim D. Microcontroller Based Applied Digital Control [Text] / D. Ibrahim. John Wiley & Sons, Ltd., 2006, 313 p.
3. Стрижнев, А. Г. Автоматизированный синтез цифровых регуляторов на основе дискретных передаточных функций объектов управления [Текст] / А. Г. Стрижнев, А. Н. Русакович // «Информатика». – 2013. – № 3. – С. 105-114.
4. Литвиненко, А. М. Применение имитационного моделирования в среде MATLAB+Simulink для параметрического синтеза систем управления [Текст] / А. М. Литвиненко, Л. Б. Афанасьевский, А. Н. Горин, М. А. Чурсин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2018. – № 4. – С. 23-26.

**УДК 621.316.36**

*Власов О. О., Ярохін С.В.*

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

**СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СУДНОВОГО КОМПРЕСОРА**

Суднові повітряні компресори необхідні для забезпечення споживачів суднової енергетичної установки і судна в цілому стисненим повітрям різного тиску і витрат. На судні споживачами стисненого повітря є: головний двигун і дизель-генератори (пускове повітря); система ДАК головного двигуна; система автоматичного управління і контролю; масляні фільтри ГД (продування); продування кінгстонів; відключення паливного насоса високого тиску на ходу; випускні клапани ГД; зарядка аквалангів; господарські потреби та інше.

Одним з актуальних питань, пов'язаних з експлуатацією суднових компресорів є регулювання їх продуктивності, з метою забезпечення заданого тиску у мережі стисненого повітря.

Найефективнішим способом регулювання продуктивності компресора є регулювання зміною частоти обертання приводного електродвигуна. При цьому способі регулювання тиску відбувається без зміни робочої діаграми компресора, що обумовлює роботу компресора з ККД близьким до максимального у всьому діапазоні продуктивності [1].

В роботі виконано розрахунок системи керування електропривода суднового компресора на базі перетворювача частоти. Для реалізації системи частотного регулювання тиску шляхом керування швидкістю обертання двигуна компресора запропоновано частотний перетворювач з вбудованим ПІД-регулятором і джерелом сигналу зворотного зв'язку (датчиком тиску).

Встановлено, що в цьому випадку компресор споживає рівно стільки енергії, скільки необхідно при поточному рівні споживання стисненого повітря. При зміні витрати стисненого повітря електродвигун компресора лише знижує або підвищує число обертів. Таким чином забезпечується: більш точна підтримка рівня тиску; висока ефективність роботи компресора в режимі часткового навантаження; відсутність додаткової запірно-регулюючої арматури; точна підтримка тиску стисненого повітря; відповідність споживаної потужності фактичною витратою стиснутого повітря; відсутність фаз холостого ходу; відсутність надлишкового стиснення і втрат повітря при розвантаженні системи; зниження пускових струмів і виключення коливань в електричній мережі під час пусків; економія споживання електричної енергії до 30%.

**Список використаних джерел**

1. Черкасский В. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры [Текст] / Черкасский В. М.. Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп.— Москва: Энергоатомиздат, 1984. - 416 с.

**УДК 621.316.36**

*Гаврилюк О. С., Ярохін С.В.*

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

**АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД СУДНОВОГО НАСОСА**

Суднові насоси призначені для забезпечення нормальної роботи головних машин і задоволення загальносуднових потреб. За допомогою насосів здійснюється переміщення рідин або газових середовищ по трубопроводах усередині судна, прийом їх через борти на судно або видалення за борт.

Загальносуднові насоси обслуговують потреби всього судна і розташовуються в спеціальному насосному відділенні або в вузлових місцях відповідної системи. До загальносуднових відносяться: баластні, осушувальні,



пожежні, водовідливні, санітарні та ін. Призначення кожного з цих насосів визначається призначенням відповідної системи, яку обслуговує насос.

У процесі налагодження та експлуатації насосної установки в залежності від конкретних умов часто необхідно змінювати подачу і напір насоса. Забезпечити роботу насоса із заданою подачею (в межах його характеристики) можна дроселюванням або рециркуляцією рідини, зміною числа обертів робочого колеса, зміною діаметра трубопроводу і зменшенням діаметра робочого колеса. Найбільш ефективним способом є регулювання частоти обертання робочого колеса насоса за рахунок зміни швидкості його електропривода. Так знизивши в двоє частоту обертання робочого колеса насоса, в два рази зменшується його подача, в чотири рази зменшується напір і у вісім разів зменшується споживання електроенергії [1].

У доповіді розглядається питання підвищення ефективності автоматизованого електропривода суднового насоса за рахунок використання частотного керування асинхронним двигуном. Запропонований електропривод забезпечує: плавне включення і зупинку насосів, що знижує ймовірність гідравлічних ударів у системі; спрощення автоматичного регулювання із зворотним зв'язком по напору, тиску, іншим параметрам мережі; захист насосних агрегатів від "сухого ходу" перевантажень; відключення електродвигунів при перегріванні обмоток, обриві однієї або декількох фаз, скачках напруги та інших аваріях; збільшення терміну служби мережі водоподачі за рахунок точної підтримки необхідного тиску, зниження навантаження на трубопровід; зниження шуму при експлуатації насосних агрегатів; можливість інтеграції в багаторівневі системи автоматизації суднового обладнання; економію електроенергії.

#### Список використаних джерел

1. Будов В. М. Судовые насосы [Текст] / Будов В. М. Судовые насосы: Справочник. –Л.: Судостроение, 1988. – 432 с.

#### УДК 621.316.36

Ліщук А. В., Ярохін С. В.

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

## АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД МЕХАНІЗМУ ПІДЙОМУ ПОРТАЛЬНОГО КРАНА

Портальний кран - складна підйомно-транспортна машина, складність конструкції якої визначається складністю технологічних операцій і підвищених вимог до точності виконання і роботи крана. Вантажопідйомність кранів, які використовуються в портах при навантаженні масових вантажів, коливається в межах від 1,5 до 20 тонн [1].

Найбільш широко в приводах кранів застосовуються асинхронні електродвигуни. Кожен привод оснащується електромеханічним гальмом. Керування краном здійснюється з кабіни оператором за допомогою командоконтролера. Такий електропривод має наступні недоліки: сильні ривки механізму підйому на початку ходу і при зупинці; розгойдування вантажу; труднощі в точній зупинці крана в заданому місці; механічні та електричні перевантаження приводів на початку руху і при зупинці; несправності механізмів, пориви троса, знос колодок гальма. Перехід роботи приводу в зворотну сторону можливо після остаточного загальмування пристрою; відсутність варіантів зміни швидкості.

В роботі пропонується модернізація електропривода механізму підйому портального крану за рахунок використання перетворювача частоти, який забезпечує векторне керування швидкістю електродвигуна.

Система частотного керування забезпечує безконтактне плавне регулювання швидкості в широкому діапазоні при економному споживанні електричної енергії, отримання малих (доводочних) швидкостей, при яких підвищується точність зупинки. Повністю виключаються кидки пускового струму, що позитивно впливає на мережу живлення. Крім того, перетворювач частоти дозволяє підтримувати необхідний момент на валу електродвигуна у всьому діапазоні швидкостей. Всі силові контактори замінюються одним блоком керування – перетворювачем частоти. Також відпадає необхідність застосування резисторів в ланцюзі ротора електродвигуна з фазним ротором.

Крім того перехід на систему векторного керування супроводжується зменшенням трудомісткості технічних обслуговувань, обсягу і тривалості ремонту як електричної, так і механічної частин крана і, відповідно, скороченням простоїв обладнання, а також істотним зниженням витрати змінно-запасних частин. Економія електроенергії при запропонованій модернізації складає 30-40 %.

#### Список використаних джерел

1. Яуре А.Г. Крановый электропривод [Текст] / Яуре А.Г., Певзнер Е.М. Крановый электропривод: Справочник. – Москва: Энергоатомиздат, 1988. — 344 с.

## СЕКЦІЯ 4. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ КОМПЛЕКСИ, ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ І АПАРАТИ

УДК 620.9

Тутов Д. О.

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

### ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАЦІОНАРНОГО ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ СТРУМОПРОВІДНИХ ШИН РОЗПОДІЛЬЧОГО ПРИСТРОЮ

В даному повідомленні викладено основні результати теоретико-експериментального дослідження стаціонарного теплового поля струмопровідних шин розподільчого пристрою, які було проведено з урахуванням рекомендацій [1-3]. В дослідженні для проведення розрахунку побудовано чисельну математичну модель струмопровідних шин (рис. 1, а) розподільчого пристрою електроенергетичної системи ФГ «Органік Системс» групи компаній Agrofusion. Просторова геометрична модель складалась з трьох секційних струмопровідних шин, ізоляційного кріплення та сталевих опор. Розрахунок розробленої математичної моделі проводився за наступних вихідних даних: струмопровідні шини перерізом 60×15 мм кожна; ширина секції 75 мм; довжина прольоту 2 м; відстань між внутрішніми шинами різних фаз 90 мм; сила струму 3200 А; температура нижніх граней сталевих опор вважалась рівною температурі оточуючого середовища 20 °С; матеріал шин – алюміній; матеріал ізоляції – поліетилен; матеріал опор – конструкційна сталь.

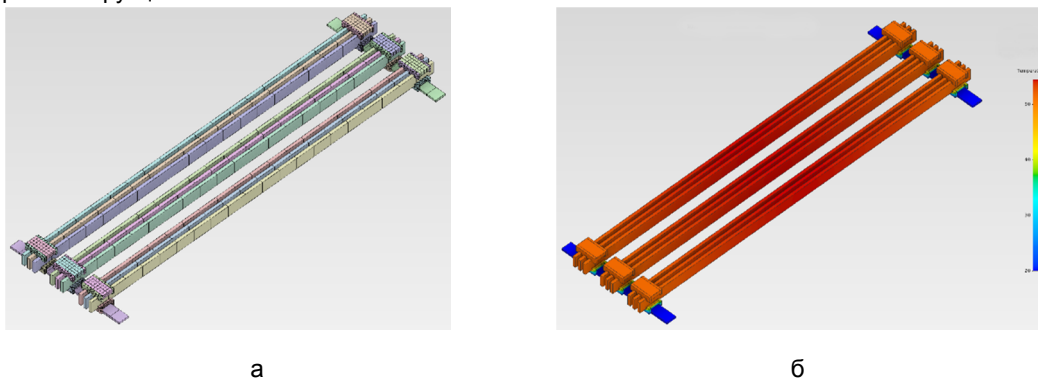


Рис. 1

В результаті розрахунку, отримано картину розподілу стаціонарного теплового поля (рис. 1, б), що враховує розсіювання тепла з поверхонь струмопровідних шин за рахунок вільної конвекції. Розподіл температурного поля по довжині шин практично рівномірний, незначні відхилення пов'язані з наявністю «теплових містків» в місцях закріплення шин до ізоляторів, розміщених на сталевій основі. Максимальна температура нагріву струмопровідних шин при силі струму 3200 А становить приблизно 54 °С. Результати розрахунку стаціонарного теплового поля перевірено дослідним шляхом з використанням тепловізора Flir E8. Співпадання даних теоретичного розрахунку з результатами експериментальних вимірювань теплового поля на струмопровідних шинах підтвердили їх достовірність.

Подальні дослідження будуть спрямовані в напрямку моделювання аварійних режимів роботи струмопровідних шин розподільчого пристрою при ударних струмах короткого замикання з одночасною перевіркою шин на відповідність умовам електродинамічної стійкості, з урахуванням результатів [4].

**Висновки.** На основі подубованої математичної моделі струмопровідних алюмінієвих шин 60×15 мм, що входять до складу розподільчого пристрою електроенергетичної системи ФГ «Органік Системс» групи компаній Agrofusion, отримано картину розподілу стаціонарного теплового поля з урахуванням розсіювання за рахунок вільної конвекції. Розрахунком встановлено, що при силі струму 3200 А максимальна температура нагріву струмопровідних шин становить приблизно 54 °С. Результати розрахунку підтверджено експериментальними вимірюванням з використанням тепловізора Flir E8.

#### Список використаних джерел

1. Кулон Жан-Луи. САПР в электротехнике [Текст] / Жан Луи Кулон, Жан-Клод Сабоннадьер. – М.: Мир, 1988. – 208 с.
2. Кириченко О.С. Моделювання стаціонарних теплових полів струмопровідних шин різного профілю / О.С. Кириченко, В.І. Костюченко, Д.О. Захаров [Текст] // Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК : науково-технічний журнал. – Харків: ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2017. – № 1 (6). – С. 60-63.

3. Кириченко О. С. Порівняльний аналіз електротеплових характеристик струмопровідних шин прямокутного перерізу і квадратного перерізу з квадратним отвором [Текст] / О. С. Кириченко // «Теория и практика актуальных научных исследований» (г. Запорожье, 28-29 сентября 2018 г.). – Херсон: Издательский дом "Гельветика" 2018. – С. 39-42.

4. Olexandr Kyrychenko. Влияние геометрических параметров изоляторов и токопроводящих шин на электродинамическую стойкость при коротком замыкании [Текст] / Olexandr Kyrychenko, Igor Sidorika // Motrol Motorization and power industry in agriculture. – Volume 18. No 2. – Lublin, 2016. – С. 33-39.

### УДК 621.3

Жежело А.О., Кімстач О.Ю.

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

## УДОСКОНАЛЕНА СХЕМА ПІДКЛЮЧЕННЯ ОБМОТОК АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ПІДВИЩЕНОЇ БЕЗВІДМОВНОСТІ

**Вступ.** Асинхронні двигуни підвищеної безвідмовності (АДПБ) відрізняються від звичайних асинхронних двигунів тим, що виконуються з обмоткою, котра комутується посекційно. Існує декілька видів виконання цих обмоток [1, 2], які показані на рис. 1.

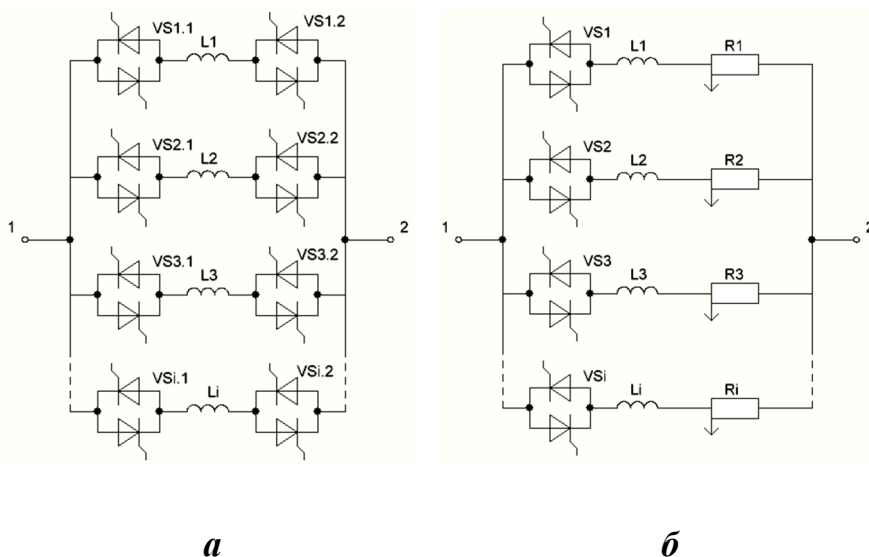


Рисунок 1 – види виконання обмоток АДПБ; з двома парами напівпровідникових комутаторів (а); з парою напівпровідникових комутаторів на початку фази та з датчиками струму наприкінці фази (б)

Схема (рис. 1, а) дозволяє забезпечити ізолюваний контроль за станом та регулювання струму у секції, але сигнали для системи контролю та керування нелінійні [2].

Схема (рис. 1, б) надає можливість забезпечити ізолюваний контроль за станом секції та реалізує лінійні залежності сигналів з датчиків струму, але має лише однобічне керування та не дозволяє повністю відключити ушкоджену секцію [1].

**Мета роботи** – розробити схему обмотки АДПБ, яка не буде мати основних недоліків існуючих схем.

**Основний матеріал.** До розгляду вирішення основних недоліків існуючих схем обмотки АДПБ, приводиться схемне рішення яке показано на рис. 2.

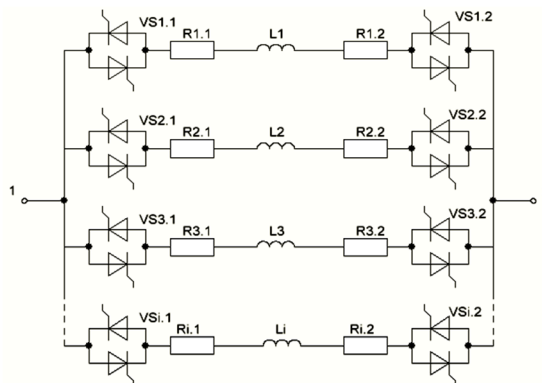


Рисунок 2 – обмотка АДПБ з двома парами напівпровідникових комутаторів та з датчиками струму на початку і наприкінці фази

В схемі (рис. 2) послідовно кожній секції обмотки встановлені інверсійні напівпровідникові комутатори та активні опори як зі сторони початку фази так і наприкінці. Це вирішує основні недоліки уже існуючих схем [1, 2], а саме забезпечує двобічне регулювання, комутацію та контроль за станом струму у секції, що дозволяє повністю реалізувати алгоритми контролю за всіма можливими аварійними ситуаціями.

**Висновок.** Схема (рис. 2) являється найбільш універсальною та може бути використана для всіх типів призначень АДПБ, схеми (рис. 1, а) та (рис. 1, б), котрі мають функціональні та технічні обмеження, слід застосовувати для менш вимогливих АДПБ.

#### Список літератури

1. Обмотка машини змінного струму. Патент на корисну модель № 52322. Україна, МПК (2009) H03K3/00 / О.Ю. Кімстач (Україна). – № u201001376; Заявл. 10.02.10; Опубл. 25.08.10, Бюл. № 16. – 4 с.
2. Обмотка електромагнітних та електромеханічних перетворювачів змінного струму. Патент на корисну модель № 108323. Україна, МПК H02K 3/28 (2006.01) / О.Ю. Кімстач (Україна). – № u201600605; Заявл. 25.01.2016; Опубл. 11.07.2016, бюл. № 13. – 3 с.

#### УДК 621.3

Тричук П.В.

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

### УСУНЕННЯ ПЕРЕКОСУ ФАЗ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАНОЇ ФАЗНОЇ НАПРУГИ

**Вступ.** Для забезпечення заданої напруги на кожній з фаз традиційно використовуються стабілізатори напруги. У побутових умовах застосовуються однофазні стабілізатори напруги, які забезпечують захист окремих електроприладів або їх невеликих груп.[1]

Також використовують ще такі методи як: Симетрування за допомогою фазових зрівнювачів; Використання симетруючого ефекту трифазних асинхронних двигунів; Симетрування за допомогою введення системи додаткових ЕРС; Застосування несиметричних трьохфазно-двохфазних трансформаторів; Трансформатор з симетруючим пристроєм.[2]

З досліджених мною матеріалів на мою думку найперспективніший із методів це трансформатор з симетруючим пристроєм.

**Мета роботи.** Розрахунок параметрів трансформатора та симетруючого пристрою для мережі 0,4 кВ.

Для досягнення мети треба обрати трансформатор та розробити відповідний симетруючий пристрій. Розрахувати та спроектувати схему підключення симетруючого пристрою обрати її компоненти. Розрахувати перехідні процеси в ньому.

#### Список літератури

1. Симметрирование (выравнивание) фазных напряжений и нагрузок (устранение перекаса фаз). Устройство: симметрирующий трансформатор ТСТ [Ел. ресурс]. Режим доступа: <http://www.energsovet.ru/entech.php?idd=135>
2. Несиметрия напруг в розподільних мережах електропостачальних систем [Ел. ресурс]. Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/5199797>

## УДК 621.3.082.62

Чепко А. С., Кириченко О. С.

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

## МОДЕЛЮВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНОГО ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО МОДУЛЯ

На сьогодні в різних електротехнічних системах широкого розповсюдження набули термоелектричні модулі, які представляють собою термоелектричні перетворювачі на основі ефекту Пельтьє [1, 5]. В основі роботи термоелектричних модулів лежить контакт двох струмопровідних матеріалів з різними рівнями енергії електронів у зоні провідності. При протіканні струму через контакт таких матеріалів, електрон повинен отримати енергію, щоб перейти у більш високоенергетичну зону провідності іншого напівпровідника, при поглинанні цієї енергії відбувається охолодження місця контакту напівпровідників. Протікання струму в зворотному напрямку забезпечує нагрівання місця контакту напівпровідників, додатково до звичайного теплового ефекту.

Ефект Пельтьє при контакті металів через резистивний нагрів і явище теплопровідності значно менший ніж при контакті двох напівпровідників, тому саме напівпровідники є основою більшості сучасних термоелектричних модулів. В якості матеріалів напівпровідників N- та P-типу в парі зазвичай використовується відповідно телурид вісмуту  $Bi_2Te_3$  та германід кремнію, які з'єднано металевими контактними пластинами.

Як відомо, термоелектричні модулі мають відносно низький ККД, а тому розробка нових термоелектричних модулів спрямована на підвищення ефективності їх роботи за рахунок розробки нових конструкцій, використання різних електротехнічних матеріалів та їх сполук, тощо.

Найпростіша модель термоелемента представляє собою електричне коло, яке складається з двох різних однорідних провідних матеріалів, при цьому термоелектрорушійна сила визначається наступним співвідношенням [1]:

$$E = \int_{T_2}^{T_1} [\alpha_1(T) - \alpha_2(T)] p T, \quad (1)$$

де  $\alpha_1, \alpha_2$  – коефіцієнти термоелектрорушійної сили матеріалів 1 і 2.

Якщо коефіцієнти  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  несуттєво залежать від температури, то

$$E = (\alpha_1 - \alpha_2)(T_1 - T_2). \quad (2)$$

Коефіцієнт Пельтьє  $\alpha$  визначається зі співвідношення Кельвіна за формулою:

$$\alpha = ET, \quad (3)$$

де  $E$  – термоелектрорушійна сила,  $T$  – температура.

Кількість теплоти, яка в результаті ефекту Пельтьє виділяється на стику двох провідників становить:

$$W = (\alpha_1 - \alpha_2) I, \quad (4)$$

де  $\alpha_1, \alpha_2$  – відповідно коефіцієнти першого та другого провідників,  $I$  – сила струму.

Тепловий потік  $W$  залежить від різниці коефіцієнтів Пельтьє та пропорційний електричному струму  $I$ , що проходить через нього. При цьому знак теплового потоку залежить від напрямку проходження струму.

З технічної точки зору ефект Пельтьє можна використовувати для охолодження. Навпроти охолоджувальної сторони з температурою  $T_0$  знаходиться тепловий резервуар з температурою  $T_1$ :

$$(T_0 - T_1)_{\max} = 1/8 (\alpha_1 - \alpha_2) \sigma / \lambda, \quad (5)$$

де  $(T_0 - T_1)_{\max}$  – максимально досяжна різниця температур,  $\sigma$  – електрична провідність,  $\lambda$  – теплопровідність.

Отже, максимально досяжна різниця температур змінюється пропорційно електричній провідності і зворотно пропорційно теплопровідності, що є протилежними властивостями. Цей факт поряд з необхідною термоелектричною напругою часто ускладнює технічну реалізацію ефекта Пельтьє, оскільки більшість добрих провідників електричного струму добре проводять і теплоту.

Методологічно дослідження, як це рекомендовано в [2-4], було розбито на три етапи: створення геометричної моделі, створення кінцево-елементної моделі, створення фізичної моделі. Кінцево-елементну (рис. 1, а) та фізичну моделі (рис. 1, б) циліндричного термоелектричного модуля створено на основі геометричної моделі з використанням САПР. Кінцево-елементна модель розробленого циліндричного термоелектричного модуля містить  $3,65 \cdot 10^5$  вузлів та  $5,1 \cdot 10^4$  кінцевих елементів, тому моделювання потребує значних обчислювальних потужностей.

Розроблений циліндричний термоелектричний модуль представляє собою складний вузол технічної системи, в якій він може виконувати функцію термоелектричного охолодження. Конструктивно термоелектричний модуль є ланцюгом із 240 P-N-переходами та 481 мідною контактною пластиною, що розташований по десяти твірним циліндра діаметром  $\varnothing 15$  мм і висотою 143 мм і крайнім дуговим контактним пластинам. Кожен з 480 напівп-



ровідників має форму куба з довжиною ребра 2 мм, термоелектричний коефіцієнт напівпровідника N-типу прийнято рівним  $\alpha_1 = -0,165$  мВ/°С, а термоелектричний коефіцієнт напівпровідника Р-типу прийнято рівним  $\alpha_2 = 0,21$  мВ/°С.

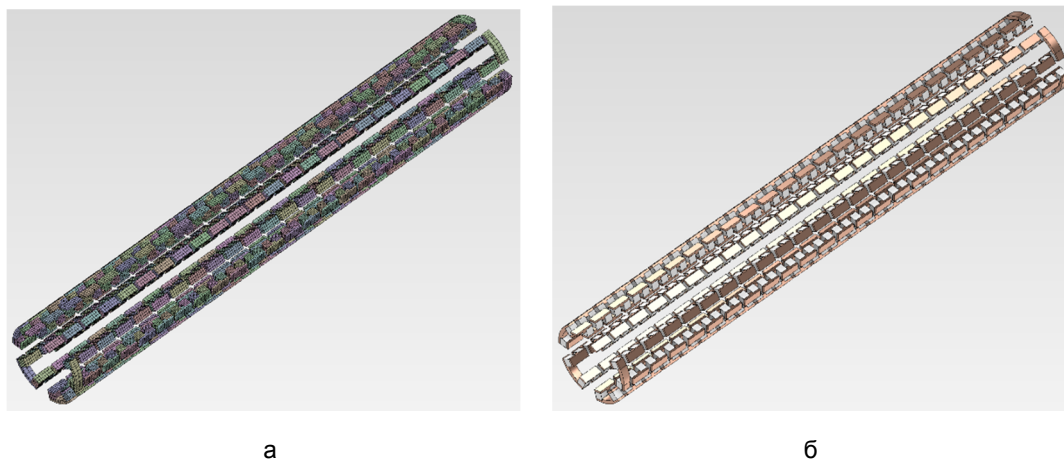


Рис. 1

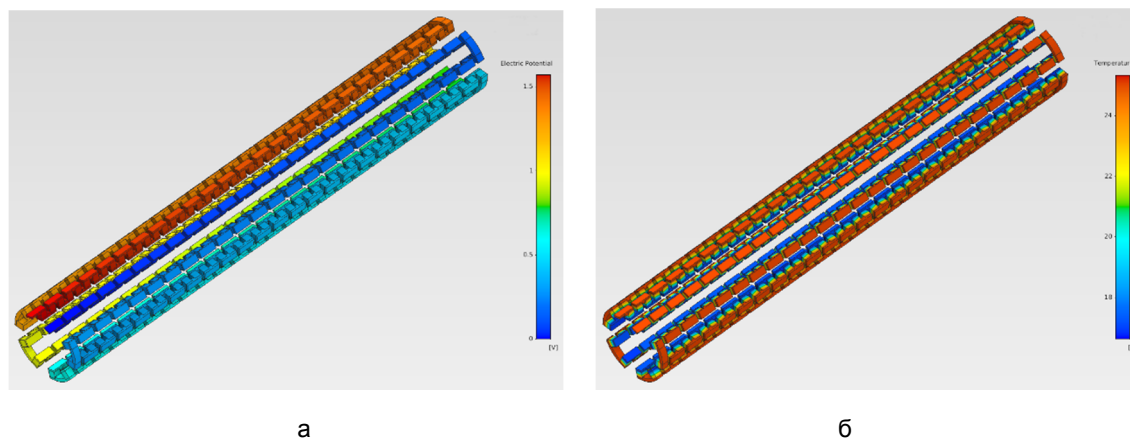


Рис. 2

На рис. 2 показано розподіл електричного потенціалу  $\varphi(x, y, z)$  по циліндричному термоелектричному модулю від 0 до 1,57 В (рис. 2, а) та температурний розподіл  $T(x, y, z)$  в статичному режимі роботи (рис. 2, б) при силі струму 10 А. При температурі оточуючого середовища  $T = 25$  °С і силі струму 10 А різниця температур на нагрітих і охолоджених контактних пластинах циліндричного термоелектричного модуля становить 8,7 °С, при цьому максимальна напруженість  $E = 0,19$  В/м електричного поля спостерігається в напівпровідниках. Циліндричний термоелектричний модуль може бути встановлено на циліндричну трубку з зовнішнім діаметром  $\varnothing 15$  мм, всередині якої поступально рухається рідина, що підлягає охолодженню.

**Висновки.** В дослідженні з використанням САПР створено математичну модель циліндричного термоелектричного модуля. Виконано моделювання розподілу електричного потенціалу, напруженості електричного поля, температури в статичному режимі роботи розробленого термоелектричного модуля. Встановлено, що при силі струму 10 А різниця температур термоелектричного модуля становить 8,7 °С, а максимальна напруженість  $E = 0,19$  В/м електричного поля спостерігається в напівпровідниках.

#### Список використаних джерел

1. Анатичук Л.И. Термоэлектрические преобразователи энергии. Том 2 [Текст] / Л.И. Анатичук. – Киев-Черновцы: Институт термоэлектричества, 2003. — 376 с.
2. Кириченко О.С. Критерії формування готовності до професійної діяльності інженерів на основі 3D-моделювання [Електронний ресурс] / О. С. Кириченко // Освітлогічний дискурс: наукове електронне видання. – Київ. – 2017. – № 3-4 (18-19). – С. 296-308.
3. Кириченко О.С. Електротепловий аналіз елементів навчально-дослідного стенду електротехнічної лабораторії [Текст] / О.С. Кириченко, І.М. Сидорика, Д.Д. Марченко // Вісник аграрної науки Причорномор'я: науково-теоретичний фаховий журнал. Миколаїв: МНАУ, 2017. – Вип. 4 (96). – С. 168-176.



4. Теорія та практика формування професійних компетентностей фахівців аграрної галузі в умовах єдиного інформаційно-освітнього університетського простору: колективна монографія [Текст] / за загальною редакцією д-ра пед. наук О. М. Самойленко та канд. пед. наук І. В. Бацуровської. – Миколаїв: ФОП Швець В.М., 2017. – 414 с.

5. Кулон Жан-Луи. САПР в електротехніці [Текст] / Жан Луи Кулон, Жан-Клод Сабоннадьєр. – М.: Мир, 1988. – 208 с.

#### УДК 621.311.15

*Пальчиков О. О., Домантович Е. А., Пилипенко Ю. В., Синичкин А. С., Цыцык Н. Н.*

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

### АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА МОЩНОСТИ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ДЛЯ СУХОГРУЗОВ И ПРОМЫСЛОВЫХ СУДЕН

Для обеспечения эффективного функционирования судна необходима генерация и распределение такого объема электроэнергии, в котором нуждаются все судовые системы и электроприемники в том или ином эксплуатационном режиме судна. Составляющей частью данной задачи является экономически целесообразный выбор мощности генераторов судовой электростанции. Такой выбор основывается на расчете суммарной полной, активной и реактивной мощности потребителей электроэнергии для основных режимов работы судна.

Цель работы – проанализировать используемые методы расчета мощности судовых электростанций, разработать некоторые общие рекомендации по данной проблеме.

Методы расчета необходимой генерируемой мощности делятся на метод корреляционных зависимостей и на, так называемые, табличные методы: постоянных нагрузок (вводятся коэффициенты одновременности включения потребителей), вероятностно-аналитический (основывается на расчете математического ожидания и дисперсии потребляемых мощностей) и вероятностный (на основе метода Монте-Карло) [1, 5]. Все указанные методы являются тем или иным приближением для оценки мощности электростанции в том или ином режиме, точное значение которой может быть получено на основе усредненного суточного графика потребления электрической мощности. Метод корреляционных зависимостей фактически может использоваться только для оценки потребления мощности электромеханизмами энергетической установки в зависимости от тоннажа судна или мощности главного двигателя и освещения – в зависимости от назначения и тоннажа судна [4]. Вероятностный метод характеризуется огромным объемом вычислительных работ [1], так как рекомендуемое число статистических испытаний 10000. В связи с тем, что данный метод лишь моделирует коэффициент одновременности включения электрооборудования и использует таблицы электрических нагрузок с коэффициентами использования и загрузки, то никаких принципиальных преимуществ по сравнению с вероятностно-аналитическим методом у него нет. Кроме того возникают дополнительные проблемы использования вероятностного метода, связанные с изменением коэффициента мощности и полезного действия при изменении активной мощности электрооборудования.

Недостатком метода постоянных нагрузок является субъективность определения коэффициента одновременности включения [2, 3, 6]. Вероятностно-аналитический метод является наиболее точным из рассмотренных методов, однако необходима информация о типе распределения потребляемой мощности того или иного электрооборудования, и характеризуется несколько большим объемом вычислений по сравнению с методом постоянных нагрузок. В данных методах для определения мощности электрооборудования используется коэффициент загрузки, который обычно может быть определен в зависимости от типа судового электрооборудования и конкретного режима работы судна [5] или же по циклограмме изменения загрузки привода.

На основе проведенных исследований предлагается следующий порядок расчета по методу постоянных нагрузок. На первом этапе выбираются наиболее тяжелые режимы эксплуатации судна [2], мощность работающего электрооборудования в которых должна обеспечивать судовая электростанция: для сухогрузов – это ходовой и стоянка с грузовыми операциями, для рыболовецких судов – это промысловый ход и стоянка с грузовыми операциями. На втором этапе составляется таблица электрических нагрузок для конкретного судового режима с установлением наименования и количества однотипных потребителей, их активной мощности, а также коэффициентов мощности, полезного действия, использования и загрузки. На третьем этапе из таблицы исключается мощное электрооборудование кратковременного включения, так как считается, что в данном случае необходимая генерируемая мощность обеспечивается включением дополнительно к основным резервного генератора [4]. На четвертом этапе все электропотребители делятся на постоянно включенные (например, электромеханизмы энергетической установки, холодильное оборудование судов рефрижераторов) с коэффициентом одновременности  $k_0 = 1$  и периодически включаемые с коэффициентом одновременности, принимаемым по справочным пособиям [5] в зависимости от типа оборудования и режима работы судна, с дальнейшим вычислением активной и полной мощности нагрузки электростанции по формулам:

$$P_{\Sigma} = k_p \left( \sum_{i=1}^n P_i + k_0 \sum_{i=n+1}^m P_i \right); \quad S_{\Sigma} = k_p \left( \sum_{i=1}^n S_i + k_0 \sum_{i=n+1}^m S_i \right),$$

где  $k_p$  – коэффициент, учитывающий потери в проводах;

$n$  и  $m$  – соответственно количество работающих потребителей электроэнергии, мощность которых постоянна в течение расчетного режима работы и работающих в непродолжительном режиме.

По вероятностно-аналитическому методу можно вычислять электрическую мощность, необходимую для питания части потребителей, а остальную электрическую мощность (например, при отсутствии информации о периоде включения электрооборудования) учитывать методом постоянных нагрузок. Тогда необходимая мощность электростанции определяется:

$$P_{\Sigma} = P_{ko} + k_p \cdot (M(P) + 2\sqrt{D(P)}); \quad S_{\Sigma} = S_{ko} + k_p \cdot (M(S) + 2\sqrt{D(S)}),$$

где  $P_{ko}$  и  $S_{ko}$  – суммарная потребляемая активная и полная мощность электроприемников соответственно, определенная методом постоянных нагрузок без учета, например, рулевого и якорного устройств, лебедок и кранов, основного и внешнего освещения;

$M(P)$  и  $D(P)$ ,  $M(S)$  и  $D(S)$  – соответственно, суммарные математическое ожидание и дисперсия активной и полной мощности электрооборудования, определяемые по соответствующим зависимостям [1].

Так как центральные предельные теоремы теории вероятности утверждают, что сумма большого числа независимых случайных величин имеет распределение близкое к нормальному, то можно упростить расчет мощности судовой электростанции вероятностным методом, при условии, что мощности приемников электрической энергии примерно одного порядка. Суммарная активная и полная мощность электрической нагрузки, рассчитанная на основе такого упрощенного вероятностного метода, определяется:

$$\begin{aligned} P_{\Sigma} &= P_{const} + k_p \cdot (M(P) + 2\sqrt{D(P)}) = P_{const} + k_p \cdot \left( \frac{P_{max\Sigma} + P_{min\Sigma}}{2} + 2\sqrt{\frac{(P_{max\Sigma} - P_{min\Sigma})^2}{36}} \right) = \\ &= P_{const} + k_p \cdot P_{max\Sigma} \left( \frac{1}{2} + 2\sqrt{\frac{1}{36}} \right) = P_{const} + 0,833 \cdot k_p \cdot P_{max\Sigma}; \\ S_{\Sigma} &= S_{const} + 0,833 \cdot k_p \cdot S_{max\Sigma}, \end{aligned}$$

где  $P_{const}$  и  $S_{const}$  – суммарная потребляемая активная и полная мощность приемников, работающих постоянно;  $P_{max\Sigma}$  и  $S_{max\Sigma}$  – значение суммарной потребляемой активной и полной мощности для механизмов, работающих в непродолжительном режиме работы.

Результаты расчетов мощности судовой электростанции для характерных режимов работы сухогрузов «Звенигород», «Formand», «Сосновец», а также рыболовного траулера «Прометей» методом постоянных нагрузок, вероятностно-аналитическим и упрощенным вероятностным приведены в табл. 1.

Таблица 1

| Наименование судна                                   | Наименование метода расчета    |                              |                                |                              |                                |                              |
|------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
|                                                      | Постоянных нагрузок            |                              | Вероятностно-аналитический     |                              | Упрощенный вероятностный       |                              |
|                                                      | Активная мощность<br>$P$ , кВт | Полная мощность<br>$S$ , кВА | Активная мощность<br>$P$ , кВт | Полная мощность<br>$S$ , кВА | Активная мощность<br>$P$ , кВт | Полная мощность<br>$S$ , кВА |
| Ходовой режим для т/х и промысловый ход для траулера |                                |                              |                                |                              |                                |                              |
| Т/х «Звенигород»                                     | 194,10                         | 225,25                       | 196,07                         | 227,15                       | 211,58                         | 245,86                       |
| Т/х «Сосновец»                                       | 81,92                          | 97,12                        | 84,35                          | 99,76                        | 93,85                          | 111,18                       |
| Т/х «Formand»                                        | 197,45                         | 229,52                       | 199,93                         | 232,33                       | 215,04                         | 250,35                       |
| Траулер «Прометей»                                   | 1604                           | 1769                         | 1629                           | 1796                         | 1630                           | 1799                         |
| Стоянка с грузовыми операциями                       |                                |                              |                                |                              |                                |                              |
| Т/х «Звенигород»                                     | 153,03                         | 181,22                       | 161,815                        | 187,917                      | 166,63                         | 193,53                       |
| Т/х «Сосновец»                                       | 172,16                         | 197,73                       | 172,06                         | 197,69                       | 183,86                         | 211,17                       |
| Т/х «Formand»                                        | 462,03                         | 521,14                       | 432,84                         | 489,04                       | 493,51                         | 556,55                       |
| Траулер «Прометей»                                   | 1116                           | 1231                         | 1126                           | 1246                         | 1130                           | 1247                         |

**Выводы.** Разработан алгоритм расчета мощности судовой электростанции по методу постоянных нагрузок. Предложенный модифицированный вероятностно-аналитический метод позволяет повысить точность оценки необходимой генерируемой мощности без значительного увеличения объема расчетов. Точность и объективность учета потребляемой мощности электроприемников предложенного упрощенного вероятностного метода позволяет использовать данный метод при инженерных расчетах необходимой мощности судовой электростанции.

**Список использованных источников**

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

**УДК 621.314**

*Чорноморець В.С., Катрич Ю.О., Мушинський В.А.*

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

## **УДОСКОНАЛЕННЯ ТРИФАЗНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ОСНОВІ ПРИНЦИПУ ПАРАЛЕЛЬНОСТІ СТІНОК ОБМОТКОВИХ ВІКОН ПРОСТОРОВОГО МАГНІТОПРОВОДУ**

Важливими складовими елементами електротехнічних систем і комплексів промислового і спеціального призначення є трифазні індукційні статичні перетворювачі, які використовуються практично у всіх галузях промисловості. В силу своїх конструктивних особливостей вказані пристрої, як габаритні і металоємні вироби, звичайно визначають масогабаритні показники систем. У теперішній час виросли вимоги ресурсозбереження які потребують використання трансформаторів, реакторів і дроселів зі зниженою питомою і технологічною матеріалоемністю. Тому впровадження нетрадиційних конструкцій елементів активної частини, що забезпечують зниження матеріаломісткості і трудомісткості виробництва, а також підвищення компактності і надійності трифазних трансформаторів (ТТ) різного призначення, має особливу актуальність.

Одним з напрямків удосконалення трифазних силових і спеціальних трансформаторів є використання симетричної просторової електромагнітної системи (ЕМС). Однак можливості подальшого розвитку електромеханічних пристроїв в рамках традиційних («класичних») структур і конструкцій електромагнітних систем (ЕМС) є обмеженими. Згідно [1], необхідні нові нетрадиційні підходи до удосконалення трансформаторів на основі системного підходу, структурних перетворень і структурної оптимізації їх ЕМС при використанні математичних моделей (ММ) з цільовими функціями (ЦФ), що містять універсальні та відносні керовані змінні (КЗ) [2]. Задача порівняльного аналізу ЕМС вирішується на основі визначення і зіставлення екстремумів «унімодальних» ЦФ, які відповідають показникам маси, вартості та втрат активної потужності і універсальним КЗ. Універсальними КЗ є такі, які прийнятні і ідентичні як для варіантів, що порівнюються, так і для будь-яких з різноманітних існуючих та майбутніх нетрадиційних пропозицій конструкцій ЕМС. Викладеним умовам електромагнітної еквівалентності і універсальності відповідає метод оптимізації на основі безрозмірних показників технічного рівня та універсальних геометричних керованих змінних [2].

Просторові ЕМС представлені п'ятьма видами схем (рис.1) і різними типами та комбінаціями конструкторсько-технологічних рішень. У вказаних схемах стрижні утворюються ділянками розімкнених контурів (рис. 1, а і б), а також можуть з'єднуватися з ярами "трикутником" (рис. 1, в і д) або "зіркою" (рис. 1, г). Найбільш прийнятною, з точки зору маси і габаритів є аксіальна ЕМС зі стрижнями замкненими "трикутником" (рис. 1, д) [2].

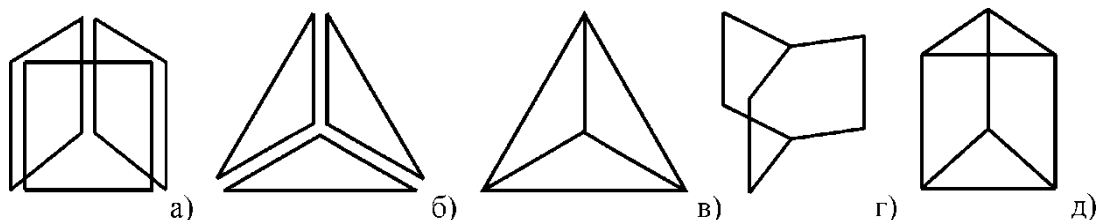


Рис.1.

Запропоновано можливість удосконалення трифазної просторової ЕМС (рис. 1, д) на основі зменшення відстані між центрами перерізів стрижнів при дотриманні принципу паралельності стінок обмоткових вікон просторового магнітопровода. Забезпечення паралельності стінок обмоткових вікон можливо на основі маловідхідних маг-

ніто проводів з шости або тригранним внутрішнім контуром. Для організації мало відхідного виробництва вказаних конструкцій доцільно використання технології намотування, штампування або розрізання стрічки електротехнічної сталі.

При використанні описаного вище методу виконані проектні дослідження вказаних технічних рішень. На основі співставлення еквівалентних в електромагнітному відношенні варіантів трифазних ЕМС класичної стрижневої плоскої з прямокутним перерізом стрижнів і запропонованої просторової конструкції встановлено, що об'єм сталі просторового трансформатора з шестигранним внутрішнім контуром на 20...25% менше, ніж у класичної конструкції, що визначає відповідно меншу масу магнітопровода, при цьому середня довжина витка менша на 3...5%, що обумовлює меншу масу обмоток.

**Висновки.** Електромагнітні системи з традиційними структурами і конструкціями наближаються до певної межі розвитку і мають недоліки. В роботі показано, що дотримання принципу паралельності стінок обмоткових вікон просторового магнітопровода уявляється суттєвим фактором енергоресурсозбереження.

#### Список використаних джерел

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

#### УДК 621.3

*Гончарук В. С., магістрант, науковий керівник – к.т.н. Авдєєва О. А.*

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

## ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ТА МАТЕРІАЛОМІСКОСТІ ВИРОБНИЦТВА АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

Удосконалення конструкції і технології виробництва машин змінного струму, в тому числі асинхронних двигунів (АД), традиційної конструктивної схеми (радіальної з внутрішнім контуром) здійснюється за двома напрямками. У відповідності до першого напрямку вирішуються задачі застосування технологічного резерву підвищення коефіцієнту корисної дії (ККД) на основі зменшення довжини лобових частин і додаткових втрат удосконаленням обмотково-ізоляційних робіт, бездеформаційної технології складання та перспективних способів скріплення шарів електротехнічної сталі (ЕТС) заміною зварювання на склеювання [1 – 7]. Другим напрямком є інтенсифікація теплообміну з зовнішнім середовищем і зниження питомої маси зовнішніх і внутрішніх конструктивних елементів, а також рішення проблеми зниження відходів електротехнічної сталі.

Кардинальним способом підвищення енергоємності і зниження матеріалоємності електричних машин на протязі ХХ сторіччя з'являлось використання все більш досконалих електротехнічних матеріалів, у зв'язку з чим АД серії 4А і АІ (рис. 1) [7] легше АД серії АО і в 5-6 разів легше машин вихідних проектів початку минулого сторіччя. В трансформаторобудуванні почалось застосування аморфної ЕТС, яка є крихкою і непридатною для використання в обертових машинах. Більш перспективним є створення і використання ізотропних ЕТС з мікрокрісталічною структурою [8]. Збільшення енергоємності і зниження матеріалоємності електричних машин на протязі ХХ сторіччя здійснювалось також шляхом підвищення якості проектування при удосконаленні методик визначення параметрів і характеристик і створення способів і методик оптимізації на основі розвитку методів чисельних розрахунків і обчислювальної техніки. При цьому, згідно [9], використання активних і конструктивних матеріалів в сучасних АД досягло рівня, що наближається до оптимального.

Подальше зниження масогабаритних показників традиційних конструкцій АД не уявляються можливим. Згідно [9 – 12] електромашинобудування у другій половині минулого сторіччя перебувало в застійному стані. Виходячи з вказаного факту здійснювались намагання удосконалення АД на основі нетрадиційних технічних рішень елементів ЕМС [13]. Однак сучасний стан нових розробок АД характеризується тим, що минулі, відносно публікацій [9 – 13], роки нічого не змінили в частині використання і створення нетрадиційних енергозберігаючих конструкцій ЕМС. Засвоєнні в виробництві в ХХІ сторіччі АД в конструктивно-структурному сенсі аналогічні попереднім технічним рішенням ХХ сторіччя. Наприклад, АД ВА04, ІВАО...ВА05П практично не відрізняються від розробок ВА02 1970-х років [14]. При проектуванні нових АД застосовуються традиційна ЕМС (рис. 1, а) і традиційні конструктивні елементи оболонки (рис. 1, б). Також використовуються традиційні способи удосконалення ЕМ (згідно [4] перший спосіб удосконалення – покращені матеріали, оптимізовані «використання» ЕМС і геометричні співвідношення, ...) і традиційний корпус з зовнішнім обдувом [6, 7]. Застосовані схеми конструктивної частини закритих (рис. 1) і захищених АД відповідають початку минулого сторіччя і, згідно [11, 14], не є ефективними.

**Метою роботи** є обґрунтування можливості удосконалення асинхронних двигунів закритого виконання на основі нетрадиційних конфігурацій шарів магнітопровода та безкорпусного виконання.

В ХХІ сторіччі головною задачею електромашинобудування уявляється комплексне енергоресурсозбереження на основі максимального підвищення ККД і  $\cos\phi$ , а також збільшення потужності в заданих габаритних розмірах [15]. Тенденцією останніх десятиріч розробок АД є підвищення ККД зниженням електромагнітних навантажень (в першу чергу щільності струму статора) при збільшенні активної довжини і матеріаломісткості. Подібна тенденція найбільш характерна для технологічно провідних держав (США, Германія, Японія). Згідно наведеному в [3] фрагменту нормативу Європейського союзу, що введений з 2010 року, ККД АД загального призначення в діапазоні потужностей від 1,5 до 250 кВт повинен зростати з 0,75 до 0,9 і з 0,94 до 0,975. При цьому традиційна конструкція АД є незмінною на протязі минулого і початку нового сторіччя [4 – 11]. Світова тенденція зниження електромагнітних навантажень підвищує масу і суперечить вимогам ресурсозбереження.

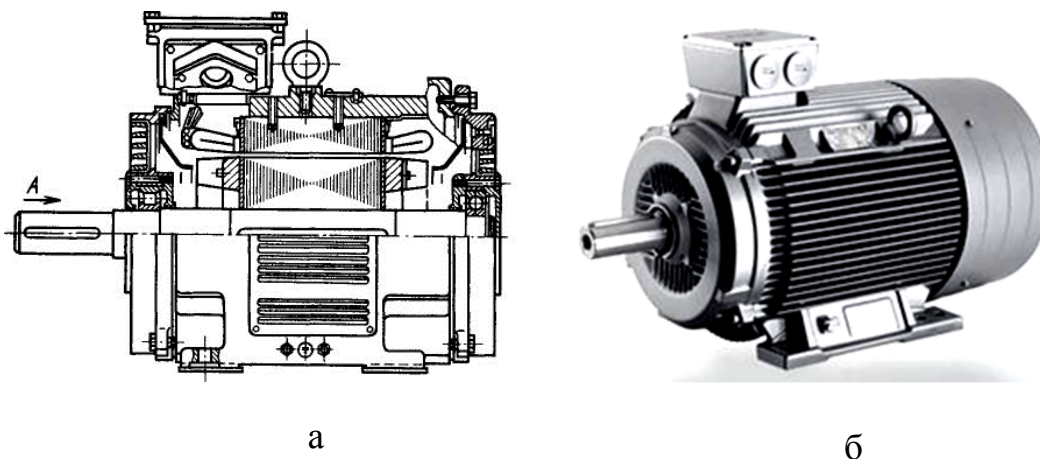


Рисунок 1 – Конструкція (а) та загальний вид (б) асинхронного короткозамкненого двигуна традиційної конструкції відповідно захищеного та закритого виконань серії АІ

В останні десятиріччя традиційна конструкція АД (рис. 1) як об'єкту великомасштабного виробництва не відповідає вимогам покращення якості таких машин і можливостям економії ЕТС [9 – 12].

На габарити та масовартісті показники АД також суттєво впливає конструктивна частина.

Конструктивна частина забезпечує необхідні для нормального функціонування прочність, жорсткість і поверхню охолодження АД, а також захист активної частини від зовнішнього середовища, рух ротору, встановлення і приєднання елементів приводу. Її головними елементами є деталі оболонки, а також деталі системи охолодження. В АД традиційної конструкції (рис. 1) такими елементами є станина з ребрами охолодження, робоче колесо та кожух вентилятора обдуву. Удосконалення конструктивної частини передбачає покращення теплового стану АД і зниження матеріаломісткості при забезпеченні заданих міцнісних характеристик. Актуальною задачею є розробка нових конструкцій і технологій оболонки, які забезпечують значну економію чорних і кольорових металів та зведення до мінімуму екологічно небезпечних виробництв на основі екологічно чистого і більш прогресивного штампового виробництва [2 – 5, 9 – 12].

Підвищення теплопровідності корпусу шляхом зменшення його товщини, а також організація часткового обдуву зовнішньої поверхні ярма статора досягається використанням гофрованої станини з тонколистового металу. Згідно [4, 5, 11] використання подібних оболонок, у порівнянні з литими, суттєво зменшує металомісткість і трудомісткість та підвищує економічність виробництва. Однак складність виконання пресової посадки, мала площа стику і недостатньо надійний контакт поверхні статора з гофрованими ребрами та поверхнями корпусу, знижують ефективність тепловідводу. Крім того, необхідно створення спеціалізованого обладнання автоматизованого виробництва гофрованих станин [13].

Складність рішення конструкторсько-технологічної задачі створення маловідходних магнітопроводів і прогресивних технологічних рішень оболонок стимулювало розробку компромісних пропозицій і використання резервів класичної технології виробництва [11 – 13].

Конструкція і технологія виготовлення магнітопроводів статорів визначає два важливих напрямки комплексної економії в електромашинобудівному виробництві, тобто напрямок зниження відходів ЕТС, а також напрям інтенсифікації = теплообміну електричної машини з зовнішнім середовищем або хладагентом.

Основна частина теплової енергії, що виділяється в статорі закритого АД, передається крізь тепловий опір, який визначається відомим рівнянням [12]



$$R_{\Theta} = \frac{h_{as}}{\lambda_c \Pi_a} + \frac{\delta'_k}{\lambda'_k \Pi_a} + \frac{\delta_k}{\lambda_k S_m} + \frac{1}{\alpha_v S_m}, \quad (1)$$

де  $\lambda_c$  – теплова провідність ЕТС в напрямку шихтовки;  $\Pi_a$  – площа поверхні контакту ярма з корпусом;  $\delta'_k$  і  $\lambda'_k$  – величина і теплова провідність контактного зазору між ярмом і корпусом;  $\delta_k$  і  $\lambda_k$  – товщина і теплова провідність матеріалу корпусу;  $\alpha_v$  і  $S_m$  – коефіцієнт тепловіддачі середовищу охолодження і зовнішня поверхня тепловідводу.

Традиційними засобами поліпшення теплового стану закритого АД, що визначаються (1) є: збільшення  $S_m$  і зменшення  $\delta_k$  при збереженні жорсткості оболонки обрешеченням корпусу, збільшення  $\alpha_v$  шляхом, наприклад, зовнішнього обдуву і зменшення  $\delta'_k$ . Більш ефективним рішенням задачі підвищення інтенсивності охолодження і зниження матеріаломісткості електричної машини є повна відмова від оболонки, що охоплює ярмо статора, як в захищеному, так і в закритому виконаннях АД [4, 5, 11]. З точки зору забезпечення вологозахищеності внутрішня порожнина з активною частиною повинна бути або пов'язана з зовнішнім середовищем, або герметична, тому що внутрішній конденсат, що накопичується в результаті зміни температурних режимів, призводить до швидкого виходу з ладу АД (зокрема рудничних і шахтних [16]). Герметизація внутрішньої порожнини суттєво підвищує складність і вартість конструктивної частини і використовується в спеціальних, наприклад, занурених АД [16]. Тому відсутність зовнішнього корпусу при закритому виконанні АД не викликає зниження надійності, а корпус в значній мірі є необхідним для забезпечення певних віброакустичних характеристик і віброударостійкості. В зв'язку з цим, при конструктивному забезпеченні захищеності і вібростійкості АД станина може бути усунена та замінена легким кожухом. Проблема захисту активної частини від зовнішнього середовища повинна вирішуватись на основі довговічних, наприклад, епоксидних покриттів [11] і просочення магнітопроводу сучасними методами [6, 7].

В [11] пропонується спосіб аксіально-тангенціального охолодження безкорпусного АД з виступами шарів ЕТС на зовнішній поверхні ярма. Відомий секціонований магнітопровід з пластин ЕТС маловідходного розкроєння з напівкруглим вирізом (рис. 2, а). З вказаних шарів складаються пакети, які повертаються при складанні магнітопроводу (рис. 2, б) на кут  $\pi/2$ . Так звані зовнішні відходи ЕТС виробництва традиційних магнітопроводів АД (рис. 1, а), які при однаковому розкроєнні ЕТС (рис. 3, а) складають 21 ... 30 %, а при двохрядному розкроєнні (рис. 3, б) та трьохрядному розкроєнні складають 15 .. 20 %. Застосування форми шарів ЕТС (рис. 2, а) надає можливість фігурного розкроєння полоси (рулону) прокату (рис. 2, в) зі зменшенням зовнішніх відходів до 5 % [11].

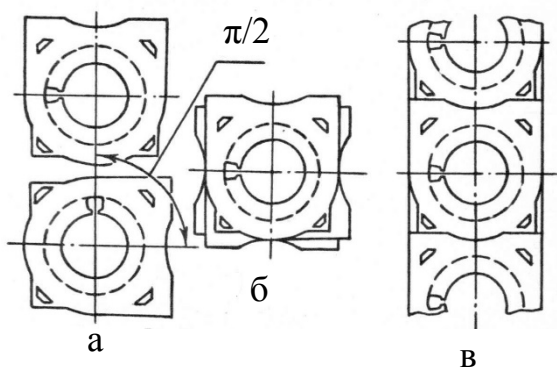


Рисунок 2 – Конфігурація пластин (а), складання пакетів (б) та розкроєння рулону електротехнічної сталі (в) при виготовленні магнітопроводу статора з аксіально-тангенціальним охолодженням

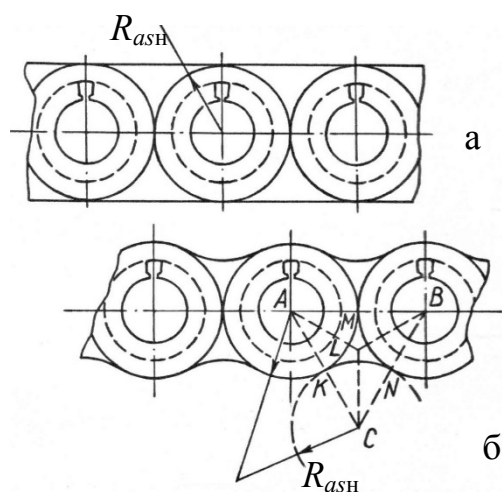


Рисунок 3 – Кутові відходи і варіанти конфігурації пластин електротехнічної сталі магнітопроводу статора при однорядному розкроєнні рулону з нульовими перемичками (а) та з маловідходним фігурним розкроєнням радіусом зовнішнього діаметру статора  $R_{ASH}$



Частинами оболонки АД з аксіально-тангенціальним охолодженням є зовнішній кожух круглої (рис. 4, а) або прямокутної (рис. 4, б) форми, а також опорні циліндри встановлення підшипникових щитів, що зтягують статор, а також елементи міцності та жорсткості. В конструкції безкорпусного АД [11] елементами жорсткості є опорні планки, що проходять крізь отвори в ребрах магнітопроводу та приварені до циліндрів, що зтягують магнітопровід (рис. 2, б, рис. 4, б). Виникають, крім економії зовнішніх відходів, наступні переваги конструкцій АД з безкорпусним статором – економія металу (чавун, алюмінієвий сплав), усунення ліварного виробництва станін та відсутність додаткових втрат в місцях сопряження магнітопроводу і корпусу, а також інтенсифікація охолодження АД відносно АД з обдувом аксіальних ребер станини. Недоліками АД з магнітопроводами (рис. 2, б, рис. 4) є деяке підвищення радіального розміру та ускладнення технології виготовлення. Технологія ускладнюється необхідністю підвищення точності штампів (для практичного співпадіння пазових опорів при повороті пластин ЕТС) та необхідність пакування та повороту (тангенціального зсуву) пакетів при складанні.

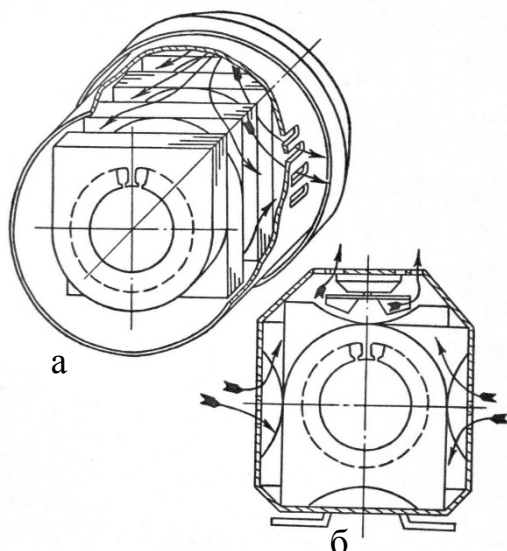


Рисунок 4 – Принцип охолодження варіантів асинхронного двигуна з аксіально-тангенціальними виступами:

а – з поступальним рухом повітря

з заднього боку від вентилятора на валу;

б – з використанням незалежної вентиляції з вбудованим електровентилятором.

**Висновки.** 1. Можливості ресурсозбереження при виробництві АД класичної конструкції традиційними засобами на основі застосування кращих матеріалів, удосконалення методик визначення параметрів і оптимізаційних розрахунків з використанням сучасних засобів чисельного моделювання і автоматизованого проектування, а також резервів класичної технології вичерпані. 2. Традиційні конструкції АД з круговим зовнішнім контуром магнітопроводу статора та зовнішньою станиною, що прилягає до ярма, не мають перспектив подальшого удосконалення. 3. Подальший розвиток електромашинобудування пов'язаний з розробкою економічних у виробництві нетрадиційних електричних машин, варіантами яких є АД з аксіально-тангенціальним охолодженням. 4. Комплексне підвищення технічного рівня електромашинобудування без значних капіталовкладень, що обумовлені корінною перебудовою виробництва, що існує, можливо при втіленні безкорпусних АД з маловідходним магнітопроводом з тангенціально-зсунутих пластин ЕТС і аксіально-тангенціальним охолодженням.

#### Список використаних джерел

1. Шидловський А.К. Макроекономічні та електроенергетичні тренди в електроенергетиці України, 1990 – 200 / А.К. Шидловський, Г.М. Федоренко // Технічна електродинаміка. – 2002. – №1. – с. 3-12.
2. Данилевич Я.Б. Современные проблемы электромашиностроения. – Электротехника. – 2003. – №7, с. 32-35.
3. Головацкий А.В. Основные направления развития электрических машин и электромеханических систем на их основе / А.В. Головацкий, Л.П. Кубарев, Л.Н. Макаров // Электротехника. – 2008. – №4, с. 2-8.
4. Ставинский А.А. Проблема и направления дальнейшей эволюции устройств электромеханики // Электротехника і електромеханіка. – 2004. – №1. – с. 57-61.
5. Ставинский А.А. Перспективы и особенности дальнейшего усовершенствования индукционных электромеханических и статических преобразователей / Л.А. Тищенко, Н.И. Зеленый // Электротехнические и компьютерные системы. – 2010. – №1(77). – с. 64-69.
6. Асинхронные двигатели общего назначения / Бойко Е.П., Гаинцев Ю.В., Ковалев Ю.М. и др.; Под ред. В.М. Петрова и А.Э. Кравчика. – М.: Энергия, 1980. – 488 с.
7. Унифицированная серия асинхронных двигателей Интерэлектро / В.И. Радина, Й. Лондин, В.Д. Розенкноп и др.; Под ред. В.И. Радина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 416 с.

8. Стародубцев Ю.Н. Основные направления совершенствования электротехнической сталей [Электронный ресурс] / Ю.Н. Стародубцев, М.Б. Цирлин. – Режим доступа: <http://www.transform.ru/articles/html/04production/a000008article>, 2003.
9. Радин В.И. Рождение серии // Наука и техника. – 1995. – с. 38-44.
10. Казанский В.М. Кризис и перспективы развития малых асинхронных двигателей. – Электричество. – 1996. – №8. – с. 37-42.
11. Wolkrodt W. Neue wege im Electromaschinenbau. – Electro-Jobr, 1985. – pp. 29-38.
12. Ставинский А.А. Асинхронные двигатели с тангенциальным смещением элементарных слоев электротехнической стали статора // Электричество. – 1996. – №8. – с. 43-48.
13. Яковлев А.И. Электрические машины с уменьшенной материалоемкостью. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.
14. Конохов Н.И. Структурный анализ и принципсимметрии при совершенствовании конструкции электрических машин // Электротехника і електромеханіка. – 2007. – №3. – с. 36-38.
15. Иванов-Смоленский А.В. Перспективы развития электромеханики в XXI веке / А.В. Иванов-Смоленский, И.П. Копылов, Е.М. Лопухина // Электропанорама. – 2001. – №1. – с. 14-15.
16. Взрывозащищенные асинхронные двигатели (конструкция, проектирование, эксплуатация) / В.А. Яковенко, Н.И. Волковой, В.В. Каика и др. – М.: Энергия. – 1997. – 347 с.

### УДК 621.3

*Курило В.В., магістрант, Науковий керівник к.т.н. Авдєєва О.А.*

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

## АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ УДОСКОНАЛЕННЯ СУДНОВОГО ТРИФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПОТУЖНІСТЮ 1000 кВ·А НА ОСНОВІ ЗАМІНИ ПЛАНАРНОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СИСТЕМИ НА ПРОСТОРОВУ РАДІАЛЬНУ

Трифазні трансформатори (ТТ) є невід'ємною частиною суднового електрообладнання та системи електропостачання суден.

Прикладом судових ТТ є серії трансформаторів ТСВМ і ТСЗМ, що призначені для електроенергетичних систем змінного струму напругою до 660 В, частотою 50 Гц судів морського і річкового флоту необмеженого району плавання, діапазон потужностей – від 0,63 до 1000 кВ·А [1].

Магнітопроводи трансформаторів ТСВМ, ТСЗМ виготовлені з холоднокатаної електротехнічної сталі товщиною 0,3-0,35 мм з жаростійким покриттям. У трансформаторів потужністю до 25 кВ·А магнітопроводи виті розрізні стикові. Магнітопроводи склеєні спеціальним компаундом, що забезпечує підвищену надійність і малощумність виробів. Для ТТ потужністю від 40 до 160 кВ·А використовуються просторові магнітопроводи, намотані із стрічки змінної ширини. Для ТТ потужністю 250 кВ·А та вище – тристрижневі планарні шихтовані з пластин різної ширини [1].

Таким чином, основне розповсюдження, в тому числі в судових трансформаторах, отримали електромагнітні системи (ЕМС) зі стрижневими магнітопроводами, що виконуються за технологіями розкroeння прокату електротехнічної сталі (ЕТС) на листи (смуги) та їх шихтування, а також за технологіями навивки стрічки (рулону) ЕТС. Технологія навивки є менш трудомісткою та застосовується при виробництві планарних індукційних статичних пристроїв малої потужності та просторових ТТ потужністю до 630 кВ·А [8]. Проводяться розробки в напрямку розширення використання витих планарних магнітопроводів в трансформаторах потужністю 400 ... 1000 кВ·А. При цьому по теперішній час трансформатори потужністю 630 кВ·А та вище виготовляються виключно способом шихтовки за трьома видами складання листів ЕТС (рис. 1) [2 – 6].

Шихтування листів ЕТС з перевертанням або зсувом стиків відповідно в схемах (рис. 1, а, б) характеризується тим, що магнітопровід не має суцільних стиків в певних площинах поперечних перерізів стрижнів.

В кожному окремому шарі мають стики між суміжними ділянками. Місця стиків листів в кожному суміжному шарі магнітопроводу зсунуті один відносно одного і утворюють певний «перепліт», тобто шихтовку. У зв'язку з цим знижується струм неробочого руху ТТ відхиленням магнітних силових ліній поля у феромагнітні перекриття суміжних шарів.

У другій половині минулого сторіччя були освоєні виробництво і застосування рулонної анізотропної ЕТС з покращеними властивостями (підвищена магнітна індукція, суттєво знижені питомі втрати).

При використанні традиційної конструкції (рис. 1, а) і анізотропної ЕТС в кутах магнітопроводу з прямокутними шарами, тобто зонах прямих стиків, виникають значні втрати, що обумовлені відхиленням напрямку магнітного потоку від напрямку текстури ЕТС при переході зі стрижня в ярмо.

**Метою роботи** є оцінка можливості удосконалення та визначення структури шихтованого магнітопроводу трифазного трансформатора, який є альтернативою застосуванню традиційних планарних структур (рис. 1).

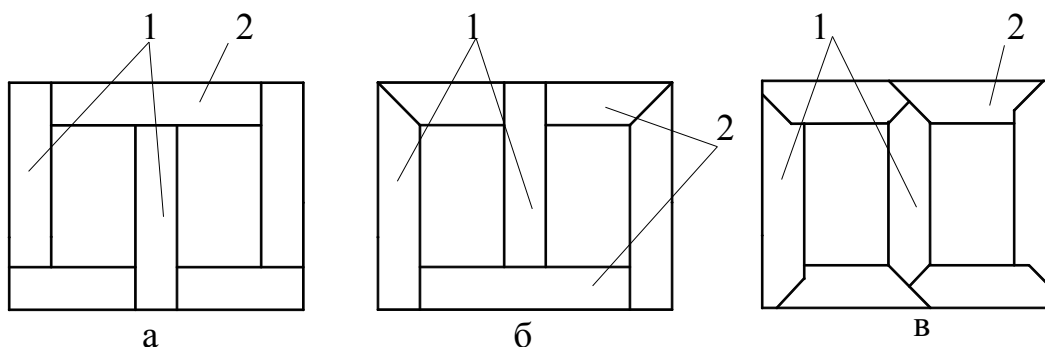


Рисунок 1 – Варіанти шихтування шарів планарного магнітопроводу з прямими стиками (а), з комбінуванням прямих і косих стиків (б), з усіма косими стиками (в): 1 – стрижень; 2 – ярмо.

Зменшення зони неспівпадіння напрямку магнітного потоку з напрямком текстури досягається шляхом застосування схем шихтовки з «косим» стиком (рис. 1, б, в). Така шихтовка характеризується тим, що контур магнітопроводу утворюється з пластин особливих форм, які в частині (рис. 1, б) або усіх (рис. 1, в) кутах стикуються під кутами  $45^\circ$ . Пластини магнітопроводів з косими стиками мають складну конфігурацію. Згідно [1 – 6] відомі багаточисельні схеми шихтовки магнітопроводів з усіма косими стиками. З метою забезпечення перекриття стиків пластини при шихтуванні магнітопроводів взаємно зсувають за довжиною, у зв'язку з чим один з гострих кутів пластин кожного шару – «вус» виступає за контур магнітопроводу [8, 9]. Для запобігання травм робітників гострими виступами і запобігання вигинів при шихтуванні магнітопроводу вуси механічно обрізуються. Крім того при розкроєнні шарів (рис. 1, в) виникають відходи ЕТС, а їх виготовлення потребує спеціального обладнання і суттєво ускладнює технологічний процес. Згідно [8] конфігурація шарів магнітопроводу з «комбінованими» стиками відносно конструкцій з косими стиками незначно підвищує втрати неробочого руху ТТ, однак безвідходні та мають значно спрощену технологію виготовлення. В минуле десятиріччя в технологічно розвинених державах засвоєна технологія MULTI-STEP-LAP автоматизованого виробництва магнітопроводів з усіма косими стиками з виникненням 4 ... 8 % відходів ЕТС і 6... 8 % збільшення вартості магнітопроводу [1 – 6]. В [4] вказано, що при косих кутах  $45^\circ$ , значне зниження питомих втрат різних марок анізотропної ЕТС не дає очікуваних результатів по зниженню втрат неробочого руху ТТ з планарними ЕМС. Коефіцієнт додаткових втрат неробочого руху таких ТТ з шихтованими магнітопроводами складає  $K_{дп} = 1,37 \dots 1,58$ .

Необхідність рішення завдань удосконалення ТТ та зниження втрат неробочого руху викликає постановку задачі структурної перебудови статичних ЕМС.

Можливим аналогом удосконалення ТТ є перша з запропонованих М.О. Доліво-Добровольським трифазних просторових структур ЕМС [7]. Така структура аналогічна радіальній ЕМС асинхронного двигуна (рис. 2) зі стиковим магнітопроводом, що містить кільцеві ярма та три розташовані під кутами  $120^\circ$  та суміщені на центральній вісі стрижні. Подібна конструкція магнітопроводу обумовлює відходи розкроєння рулону та не передбачає можливості використання анізотропної ЕТС. В зв'язку з наявністю значних відходів ЕТС магнітопроводи ЕМС (рис. 2) практично не використовувались і така конструкція не отримає подальшого розвитку у зв'язку з наступною роботою М.О. Доліво-Добровольським просторових аксіальних і планарної ЕМС [7]. Однак ЕМС (рис. 2) відрізняється компактністю та підвищеним заповненням контурного сферичного об'єму описаного кола, що має суттєве значення для трансформаторів суднового призначення.

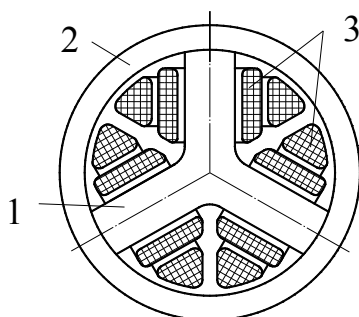


Рисунок 2 – Конструктивна схема (в поперечному перерізі) трифазної радіальної електромагнітної системи підвищеної компактності:

- 1 - стрижень;
- 2 – ярмо;
- 3 – котушка обмотки.

Практичну відсутність відходів при розкроєнні прямокутної смуги ЕТС і деяке зниження втрат кутових зон забезпечує формування радіального шихтованого магнітопроводу з паралелограмних пластин (рис. 4) [8]. На відміну від планарних ЕМС з магнітопроводами (рис. 1, б, в), косі стики шарів ЕТС магнітопроводу (рис. 3, а) утворю-

ються усього двома паралелограмними конфігураціями пластин ЕТС, що відрізняються довжиною. Також при розкросні пластин та складанні магнітопроводу (рис. 3, а) не утворюються виступи – «вуса», що потребують обрізання. Вказані фактори є суттєвими технологічними перевагами. Крім того, кут косих стиків збільшується з  $45^\circ$  до  $60^\circ$ , що знижує нахлип ЕТС і втрати зони гострого кута. Складання магнітопроводу ЕМС з трьох типорозмірів пластин, що чергуються, тобто двох паралелограмних (рис. 3, а) і третьої шевронної (рис. 3, б), суміщує фазні елементи при шихтуванні шарів ЕТС вперепліт і виключає додаткові втрати від третьої гармонічної складової викривлення магнітного потоку, що виникає в ЕМС з двоконтурними фазними елементами.

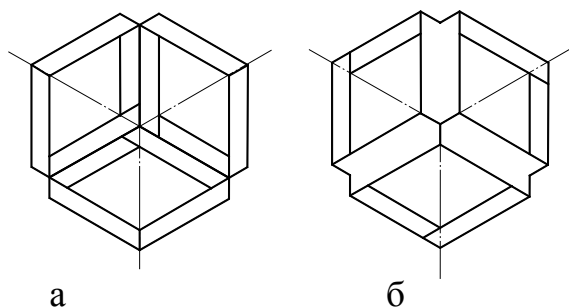


Рисунок 2 – Варіанти конфігурації радіального симетричного трифазного просторового магнітопроводу, що складений з двох (а) та трьох (б) типорозмірів паралелограмних пластин

**Висновки.** 1. Основою конструкцією ЕМС суднових трифазних трансформаторів потужністю 250 кВ·А та вище визначено планарну електромагнітну систему з аксіальним паралельним розташуванням стрижнів магнітопроводу. 2. Вказана конструкція магнітопроводу має суттєві недоліки, що пов'язані з ускладненням процесу виробництва. 3. Удосконалення трифазних трансформаторів середньої потужності можливо застосуванням нетрадиційної структури шихтованого радіального магнітопроводу, що має переваги в процесі виробництва, крім того відрізняється підвищеною компактністю, що також є суттєвою перевагою для трансформаторів суднового призначення.

#### Список використаних джерел

1. Трансформаторы серии ОСМ, ОСМВ, ОСЗМ, ТСВМ и ТСЗМ [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://electro.mashinform.ru/transformatory-dlya-ustanovki-na-sudah/transformatory-serij-osm-osvm-oszm-tsvm-i-tszm-obj3419.html> – Назва з екрану.
2. Майорец, А.И. Магнітопроводи силових трансформаторов (технология и оборудование) / [А.И. Майорец, Г.И. Пшеничный, Я.З. Чечелюк и др.]. – М.: Энергия, 1973. – 272 с.
3. Лизунов, С.Д. Силовые трансформаторы. Справочная книга: под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 616 с.
4. Перспективы и состояние разработок распределительных трансформаторов массовых серий [Электронный ресурс] / В.А. Бормосов, М.Н. Костоусова, А.Ф. Петренко, И.Е. Смольская. Режим доступа: [www.transform.ru/articles/html/03project/a000001.article](http://www.transform.ru/articles/html/03project/a000001.article) (13.09.2004).
5. Тихомиров, П.М. Расчет трансформаторов: [Учеб. пособие для вузов] / П.М. Тихомиров. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.
6. Ставинский, А.А. Перспективы и особенности дальнейшего усовершенствования индукционных электро-механических и статических преобразователей / А.А. Ставинский, И.А. Тищенко, И.И. Зеленый // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2010. – №1(77). – с. 64-69.
7. Веселовский, О.Н. У истоков электромеханики. Столетие трансформатора. / О.Н. Веселовский, И.П. Копылов // Електротехніка. – 1984. – №11. – с. 62-63.
8. Авдеева, Е.А. Модель массы и стоимости трехфазной радиальной электромагнитной системы с ромбическими обмоточными окнами и прямоугольным сечением двухконтурных стержневых частей шихтованного магнітопровода // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2012. – № 7(83). – с. 53-57.

#### УДК 621.3

Мінєєв А. А., магістрант, науковий керівник – к.т.н. Авдєєва О. А.

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

### АНАЛІЗ СИСТЕМ ГРЕБНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ РИБОЛОВНИХ ТРАУЛЕРІВ

Режими експлуатації гребних електроприводів рибопромислових суден характеризуються деякими особливостями. Ось основні з них.

Повна потужність на валу потрібна при переходах і є обмеженою при ловлі морепродуктів. Тралення відбувається при швидкості судна 4-5 вузлів. Під час вибірки трала, щоб зменшити навантаження на тралову лебідку і зменшити час підйому трала, швидкість необхідно знизити до 1-1,5 вузлів [1]. На риболовецьких судах потрібна безперервна робота гребної установки на протязі декількох місяців в умовах довготривалого впливу качки і змін

кліматичних і погодних умов. Тому проведення профілактичних і ремонтних робіт з двигуном і обслуговуючими системами у морських умовах є складним і інколи неможливим. Режими роботи головних та допоміжних двигунів під час лову мають змінний характер. Це пов'язано в основному з різним характером дій з тралом (пуск, буксировка, вибірка). Так, число пусків головного двигуна на великому морозильному траулері (ВМТ) – теплоході з гвинтом фіксованого кроку (ГФК) складає біля 180, а з гвинтом регульованого кроку (ГРК) – 30 за 1000 годин роботи на промислі.

Перевантажувальні можливості гребних електродвигунів значно більше ніж у дизелів: в останніх короткочасні перевантаження дозволяються на 10-15%, а у електродвигунів – на 150-200%. При буксируванні тралу частоту обертів дизеля необхідно зменшити до 60% від номінальної. При цьому потужність дизеля зменшується також до 50-60% від номінальної, що є енерговитратним режимом роботи. В ГЕУ система автоматичного регулювання може забезпечити постійність потужності в робочому діапазоні навантажень гребного двигуна. В суднах з дизель-електричними гребними установками (ДЕГУ) значно вища ступінь використання дизелів по потужностям: навколо 100% у порівнянні з 50% для суден з дизельними гребними установками (ДГУ). Згідно статистичним даним при траленні зі швидкістю 4,5 вузла потужності гребних двигунів ВМТ використовується на 50-60%, а при менших швидкостях тралення – ще менше. При використанні ДЕГУ практично виключається недовантаження дизель-генераторів. Важливою особливістю ГЕУ є можливість виводу з роботи частини дизель-генераторів в відповідності з потрібною потужністю. В деяких суднах з дизель-редукторними агрегатами, наприклад, траулерах типу „Атлантика”, також передбачена можливість виводу з роботи одного з двох головних дизелів при зменшенні потрібної потужності. Однак виникаюча при цьому асиметрія навантаження на редукторі може стати причиною зменшення його ресурсу. А ГЕУ, що використовують декілька дизель-генераторів, виявляються значно більш гнучкими і забезпечують потрібні проміжні рівні потужності. Змінюючи схему включення дизель-генератора та гребного електродвигуна (ГЕД), можливо по черзі виконувати профілактику та ремонтувати дизель-генератори в період рейсу. В умовах тривалих рейсів промислових суден дана перевага ГЕУ виявляється дуже важливою. Навіть при менших моторесурсах бистрохідних дизелів ГЕУ, у порівнянні з тихохідними і середньооборотними дизелями теплоходів, при правильній організації профілактичного обслуговування в рейсі, дозволяють істотно покращити показники роботи суден за рахунок зменшення ремонтних простоїв в портах. Реверсивні гвинтові характеристики показують, що не знижуючи швидкості судна, прискорений реверс гвинта і судна можливо отримувати тоді, коли гребний двигун допускає перевантаження по моменту. Як було відзначено вище, цією властивістю володіють ГЕД. По дослідним даним довготривалість реверсу на суднах ВМТ з ГФШ складає 60-65с, на суднах з ГРШ – до 15с. На суднах – електроходах цей час складає 5-8с. До переваг ГЕУ слід віднести використання єдиних енергоустановок змінного струму для електроруку і промислових потреб та використання нереверсивних дизелів. До числа недоліків ГЕУ, що використовувались до цих пір, відноситься підвищені збитки енергії у зв'язу з наявністю додаткової ланки – електропередачі, висока вартість, велика маса і габарити установки, складність її обслуговування.

Дійсно, збитки в електропередачі досягають декількох відсотків, тому при довготривалій роботі електроустановок з номінальною потужністю, ГЕУ є менш економічними відносно установок з ГФК. Однак для промислових суден, які основний час працюють з частковими навантаженнями, цей недолік не істотний, а при раціональному проектуванні і експлуатації він практично може бути виключений [1, 2].

Однак те, що описане вище, відноситься до ГЕУ з частотним управлінням, тобто з статичним перетворювачем частоти, де витрати енергії можуть досягати десяти та більше відсотків. ГЕУ без цих перетворювачів повинні мати питомий розхід палива, який не вище ніж ДГУ. Сумарна ж вага обладнання на суднах з ГЕУ без силової перетворювальної напівпровідникової ланки та його вартість повинні бути меншими ніж в суднах з ДГУ. Це обумовлено тим, що як для електроруку, так і для допоміжних потреб використовується єдина судова електростанція.

**Метою роботи** є обґрунтування можливості економічного регулювання гребного електроприводу без застосування напівпровідникових силових та керуючих пристроїв.

З виконаного аналізу випливає, що можливо створення ГЕУ змінного струму без силової напівпровідникової перетворювальної ланки. Така ГЕУ складається з системи два генератора – двигун (2Г-Д) змінного струму і схеми управління цією системою [3, 4].

Система 2Г-Д змінного струму (рис. 1) містить що найменш два синхронних генератора (в даному випадку дизель-генераторів) та один асинхронний двигун з суміщеною обмоткою (в даному випадку ГЕД). Кожний генератор має відносно двигуна половинну потужність. Суміщена обмотка двигуна складається з двох незалежних трифазних частин (напівобмоток). Кожний з генераторів живить одну з напівобмоток двигуна, а в деяких режимах і обидві. Кожна з напівобмоток двигуна утворює дві робочі гармоніки магнітного поля, наприклад, на числа полюсів 24 та 18, що відповідає синхронним швидкостям обертання при частоті 50 Гц 250 і 333,33 об/хв. Якщо струми у напівобмотках співпадають по фазі, то робочою є гармоніка з числом полюсів  $2p_1=24$ , що відповідає швидкості обертання 250 об/хв. Якщо ж струми у напівобмотках протилежні по фазі, то компенсуються гармоніки з числом полюсів  $2p_1=24$ , та в двигуні діє робоча гармоніка, що утворює кількість полюсів  $2p_2=18$ . Тобто двигун є двохшвидкісним, а для зміни числа його полюсів і відповідно обертів, потрібно змінити фазу струму в одній з напівобмоток на зворотну фазу.



Як показано в [3], якщо частоти генераторів однакові або близькі одна до одної, тоді при наявності збудження в обох генераторах, автоматично встановлюється їх стійка паралельна робота, що обумовлено наявністю індуктивного зв'язку між напівобмотками двигуна.

Магнітні осі напівобмоток двигуна здвинуті в просторі на кут  $\pi$ , тобто на половину окружності статора. Тому стійка паралельна робота генераторів буде відбуватися таким чином, як вона відбувалася б при з'єднанні їх через трансформатор шостої групи з'єднань. Фази їх напруг при цьому взаємно протилежні, і в двигуні утворюється менше число полюсів, тобто його поле обертається з більшою синхронною швидкістю.

Для переведення двигуна на більше число полюсів необхідно змінити фазу струму однієї з напівобмоток на зворотну. Це здійснюється включенням генераторів на безпосередньо паралельну роботу з попереднім відключенням збудження одного з генераторів. Цей стан системи, коли один з генераторів не збуджений, може використовуватися також як проміжна, перехідна швидкість обертання двигуна. Струм у другій напівобмотці при цьому стає наведеним, тому його фаза змінюється на приблизно протилежну. При цьому, при наявності достатнього навантаження, в двигуні утворюється більше число полюсів.

Для зручності переключення встановленої потужності генераторів з електроруху на відбір бортовою мережею і навпаки, суднова електростанція може складатися з двох, або з більшого кратного двом числа дизель-генераторів.

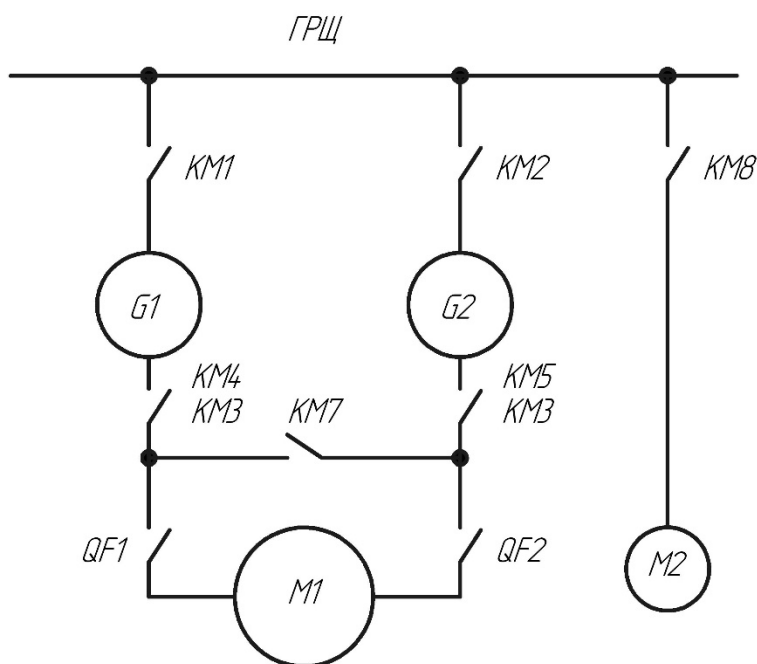


Рисунок 1 – Блок-схема системи електричного руху малого риболовного траулера з двома дизель-генераторами

На рис. 1 G1 та G2 – дизель-генератори, M1 – гребний двигун, M2 – умовний двигун, еквівалентний навантаженню інших споживачів електростанції. QF1 і QF2 та KM1...KM3 – силові апарати комутації електромашин та регулювання електропривода. Дизель-генератори G1 та G2 повністю взаємозамінні: для відбору потужності може бути обраний будь-який з них. Такий відбір відбувається ручним переключенням, таким чином, що комутується ланцюг котушки магнітного пускача KM1 або KM2, в залежності від того, ланцюг збудження якого з генераторів повинен відключатися в режимі пониженої перехідної швидкості руху судна.

Режим роботи ГЕУ встановлюється рукояткою командоконтроллера. В нульовому положенні командоконтроллера збудження отримує один з генераторів, що застосований для відбору потужності. При цьому замкнений контакт кінцевого вимикача в цепі котушки контактора нульового захисту. Це означає, що для пуску гребного двигуна потрібно повернути попереднє положення командоконтроллера в нульове положення. Для подачі напруги в схему управління натискають кнопку управління пуском. Цією дією подається напруга також на ГРЩ, так як з'являється напруга на котушці одного з контролерів KM1 або KM2 (котушки всіх контакторів живляться від електросхеми управління). Після цього може бути підключено магнітним пускачем KM8 навантаження бортової мережі. Реверсор на щиті управління ставиться в положення „вперед” або „назад”. Цим обумовлюється прямий або зворотний рух судна. Пуск гребного двигуна виконується встановленням рукоятки командоконтроллера в перше положення. При цьому замикаються контакти KM3, KM5 (при рушенні „вперед”) або KM4, KM5 (при рушенні „назад”), подається збудження на другий (не працюючий на відбір) генератор. Напівобмотки двигуна отримують роздільні живлення, двигун розганяється до швидкості, що відповідає меншому числу полюсів. Перехід на знижену швидкість, спочатку проміжну, а потім тривалу, відбувається при встановленні рукоятки командоконтроллера в положення 2, 3. Цей перехід здійснюється також як описано вище. Таким же чином знижують швидкість гребного



дизеля, коли один генератор працює на обидві напівобмотки, а інший на бортову мережу (положення 4). Положення 5 і 6 відповідає випадкам, коли працює тільки один дизель-генератор. Він живить обидві напівобмотки і навантаження бортової мережі. Швидкість гребного двигуна при цьому відповідає більшій кількості полюсів.

**Висновки.** 1. Наприкінці минулого і початку XXI сторіччя склалась думка, що кращім способом та системним забезпеченням регулювання асинхронного двигуна є частотний з напівпровідниковим перетворювачем. Однак існують випадки, зокрема транспортних приводів, в яких більш доцільним і ефективним є регулювання такого двигуна лише електромеханічними засобами при застосуванні спеціальних виконань і схем включення елементів електроприводу. 2. Підвищення ефективності систем електричного руху риболовних суден можливо застосуванням двигуна з подвійною обмоткою статора зі зсунутими фазами, що живляться від двох окремих генераторів.

#### Список використаних джерел

1. Быховский Ю.И., Шеинцев Е.А. Электрооборудование судов рыболовной промышленности. – Л.: Судостроение, 1976.-375 с.
2. Козлов В.И. Судовые энергетические установки. -Л.: Судостроение, 1975.-478 с.
3. Никитин Б.А., Войтех А.А. Новый способ управления двухскоростным асинхронным двигателем в автономной системе. –Техн. Электродинамика, 1983, №1, с. 73-78.
4. Никитин Б.А., Козиевский Л.Н. Гребная электрическая установка переменного тока без преобразовательного звена. –К.: ИЭД АН УССР, 1985. – 25 с.

#### УДК 621.3

*Щербець А. В., науковий керівник – к.т.н. Авдєєва О. А.*

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

### АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ТА СПОСОБІВ УДОСКОНАЛЕННЯ ПЛАНАРНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СИСТЕМ ТРИФАЗНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

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

Способами, що традиційно використовуються для удосконалення електромеханічних пристроїв, є використання покращених електротехнічних матеріалів, нових систем охолодження та методик оптимізаційних розрахунків [2]. Однак подальший розвиток таких пристроїв цими способами в рамках відомих («класичних») структур і конфігурацій електромагнітних систем (ЕМС) є обмеженим. З аналізу літератури [3 – 5] випливає, що необхідні нові нетрадиційні підходи до удосконалення електричних машин і апаратів на основі системного підходу, структурних перетворень і структурної оптимізації їх ЕМС. Таким чином, пошук нових конструктивних рішень елементів ЕМС ТТ, що забезпечують зниження матеріаломісткості і трудомісткості виробництва, при збереженні надійності та зниженні втрат, має особливу актуальність.

**Метою роботи** є визначення можливості удосконалення трифазної планарної електромагнітної системи з витим магнітопроводом на основі нетрадиційних конструкторсько-технологічних рішень.

Трифазні планарні структури ЕМС трансформаторів є найпоширенішими у серійному та масовому виробництві. Варіанти структур вказаних планарних ЕМС, що виробляються у теперішній час, наведені на рис. 1. Найбільше застосування отримали структури з магнітопроводом витого виконання з двоконтурними фазними елементами (рис. 1, а) та ЕМС з шихтованим магнітопроводом (рис. 1, б) з суміщеними фазними елементами.

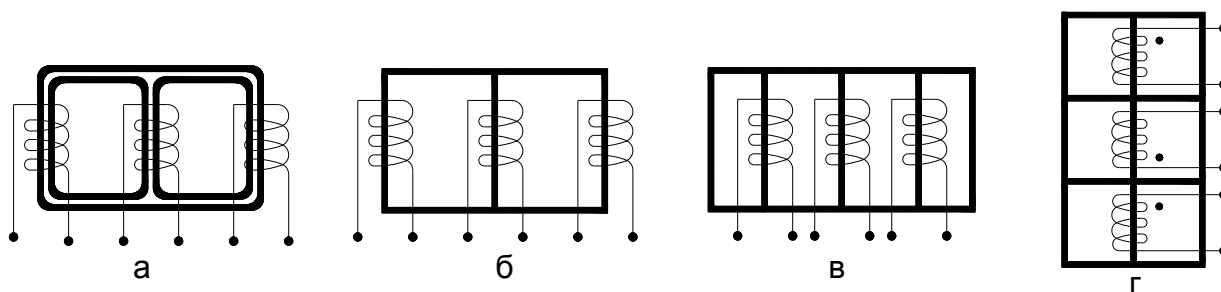


Рисунок 1 – Схеми планарних електромагнітних систем з трифазними магнітопроводами стрижневої (а, б) та броньової (в, г) структур

Виті магнітопроводи відрізняються досить простою технологією виробництва та мають свої переваги та недоліки, відносно шихтованих магнітопроводів.

Однією з важливих переваг при виробництві витих магнітопроводів є можливість використання рулонної анізотропної (текстурованої) електротехнічної сталі (ЕТС). Вказана ЕТС відрізняється від ізотропної сталі кращими електромагнітними властивостями вздовж прокату. Тому її застосування в трансформаторобудуванні призводить до деякого зниження втрат неробочого руху та маси трансформаторів з витими конструкціями магнітопроводів. Трифазні виті магнітопроводи традиційної конструкції, що мають структури (рис. 1, а), в свою чергу можуть бути виконані суцільними та розрізними. Розрізні конструкції мають свої переваги, а саме деяке зниження габаритних розмірів та кращу ремонтпридатність [6 – 8].

Використання анізотропної рулонної ЕТС в витих магнітопроводах надає можливість підвищення середнього значення амплітуди магнітної індукції стрижня  $B_c$  до 1,7 ... 1,75 Тл, а в ТТ з шихтованими магнітопроводами з вказаною ЕТС значення  $B_c$  не перевищує 1,63 ... 1,65 Тл [6 – 8]. Технологія навіски стрічки (рулону) ЕТС характеризується перевагами відносної простоти комплексної автоматизації і зниження трудомісткості виробництва, а також можливості використання мінімальних шарів ЕТС [8 – 10]. Витий стиковий (розрізний) трифазний магнітопровід традиційної конструкції (рис. 2, а) формується з трьох заготовок двох варіантів геометрії з прямокутними внутрішніми контурами. Особливістю структури (рис. 1, а) є двоконтурність фазних елементів і відсутність магнітного зв'язку між витими секціями – контурами. Двоконтурність є причиною зсуву фаз магнітних потоків у суміжних секціях. Внаслідок індивідуальності властивостей контурів замикання секційних магнітних потоків індукція у перерізі кожної секції повинна бути підвищеною в  $2/\sqrt{3}$  відносно середнього двоконтурного значення. Однак фактично амплітуди потоків секцій і стрижнів практично не відрізняються, так як треті гармоніки потоків знижують середні значення амплітуд індукції кожної секції  $B_c'$  до середніх значень  $B_c$ . Тому при розрахунках основних втрат у сталі ЕМС структури (рис. 1, а) приймається  $B_c = B_c'$  [11]. Додаткові втрати, що обумовлені несинусоїдальністю контурних потоків, враховуються відповідним коефіцієнтом  $K_{дн3} = 1,33 \dots 1,35$  [6 – 8].

Знизити масу, основні і додаткові втрати ЕМС з традиційними шихтованими і витими (рис. 2, а) магнітопроводами дозволяють варіанти магнітопроводу ЕМС (рис. 2, б, в). Конструкції і способи виготовлення комбінованого (рис. 2, б) і витого (рис. 2, в) магнітопроводів вказаної ЕМС запропоновані в [12].

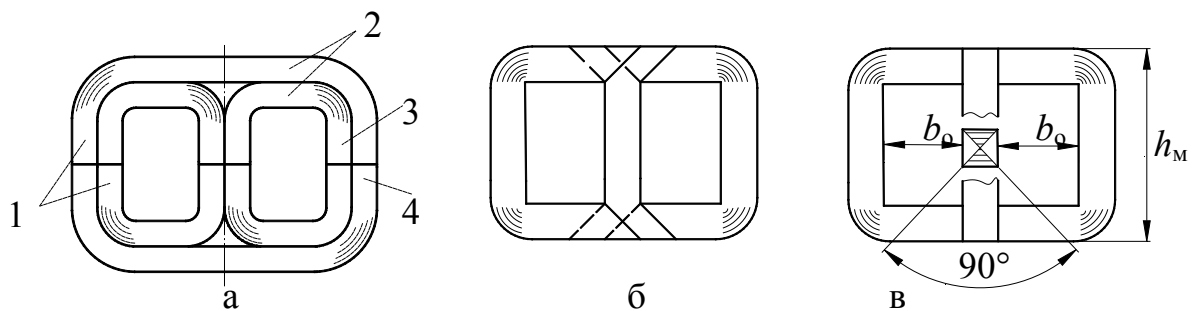


Рисунок 2 – Варіанти витих трифазних магнітопроводів з двоконтурними (а) та з суміщеними (б, в) фазними елементами: 1 – стрижень; 2 – ярмо; 3 – внутрішня секція; 4 – зовнішня секція; 5 – накладний елемент.

Такі магнітопроводи містять симетричні бокові елементи і середній елемент. При прямокутному ( $\alpha < 90^\circ$ , рис. 2, б) і квадратному ( $\alpha = 90^\circ$ , рис. 2, в) перерізах стрижнів середній елемент відповідно набирається з ідентичних пластин ЕТС або становить частину витой заготовки. Ідентичні пластини середнього елемента (рис. 2, б) виконуються поперечним розділенням смуги ізотропної або аморфної ЕТС і забезпечують косі та повернуті у суміжних секціях на заданий кут стикові зазори. Квадратні перерізи стрижнів дозволяють скласти два практично ідентичних магнітопровода (рис. 2, в) з елементів, що отримані розрізанням двох витих заготовок однакової висоти  $h_m$  з різними довжинами  $l_1$  і  $l_2$  прямокутних внутрішніх контурів (рис. 3, а, б):

$$l_1 = h_m + 2b_o + 2b_p, \quad l_2 = 2b_o + b_p,$$

де  $b_o$  – ширина обмоткового вікна;  $b_p$  – ширина ріжучого інструменту.

При мінімальній товщині стрічки (різновиди аморфної ЕТС) технологічні відхилення розмірів заготовок (рис. 3, а, б) мінімальні. Обмоткові котушки ЕМС з магнітопроводами (рис. 2, б, в) намотуються на ізоляційні каркаси, що охоплюють середні стрижневі ділянки елементів магнітопроводу. Подібна конструкція максимально задовольняє вимогам застосування крихкої аморфної ЕТС та несучої бази магнітопроводу у вигляді ізоляційних каркасів.

Стикові з'єднання бокових і середнього елементів конструкцій (рис. 2, б, в) характеризуються взаємною перпендикулярністю площин шарів ЕТС і повинні мати надійну ізоляцію. Проблему ізоляції стиків магнітопроводів необхідно вирішувати використанням тонких міцних термостійких покриттів, що застосовуються для ізоляції прокату ЕТС.

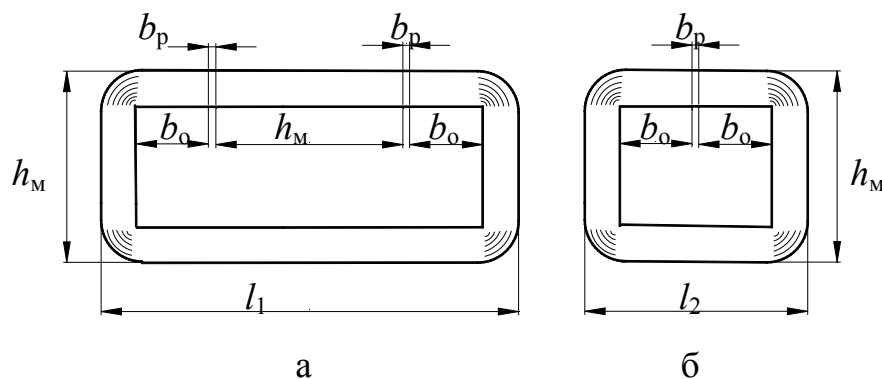


Рисунок 3 – Віті заготовки (а, б) для виготовлення планарного стикового трифазного магнітопроводу зі зниженою металомісткістю: 1 – стрижень; 2 – ярмо; 3 – котушка обмотки.

Виконання оптимізаційних розрахунків методом цільових функцій з безрозмірними показниками [10], дозволяє дослідити та порівняти показники технічного рівня відносно еквівалентного (за електромагнітною потужністю) планарного традиційного аналога ЕМС ТТ з прямокутними зовнішнім контуром та перерізами стрижнів та запропонованих нових технічних рішень витого планарного магнітопроводу (рис. 3, в – г).

**Висновки.** 1. Основною в сучасному виробництві трифазних трансформаторів є планарна електромагнітна система з аксіальним паралельним розташуванням стрижнів магнітопроводу. 2. Застосування рулонної ЕТС замість листової дозволило суттєво знизити витрати виробництва магнітопроводів і підвищити технічний рівень однофазних трансформаторів, однак трифазні трансформатори з витими магнітопроводами мають значний недолік двоконтурності фазних елементів магнітопроводів та в планарному виконанні недолік підвищеної несиметрії. 3. Удосконалення трифазних трансформаторів малої і середньої потужності можливо застосуванням нетрадиційної структури витого магнітопроводу з ортогональним розташуванням шарів електротехнічної сталі в середньому та бокових елементах магнітного кола. 4. Визначення переваг застосування нетрадиційних технічних рішень можливо на основі аналітичного оптимізаційного порівняльного аналізу нової розробки відносно традиційного аналогу з використанням методу безрозмірних показників технічного рівня та відносних керованих змінних.

#### Список використаних джерел

1. Иванов-Смоленский, А.В. Перспективы развития электромеханики в XXI веке / А.В. Иванов-Смоленский, И.П. Копылов, Е.М. Лопухина [и др.] // Электропанорама. – 2001. – №1. – с. 14-15.
2. Ставинский, А.А. Проблема и направления дальнейшей эволюции устройств электромеханики / А.А. Ставинский // Електротехніка і електромеханіка. – 2004. – №1. – с. 57-61.
3. Ставинский, А.А. Классификация структур электромагнитных систем электромеханических и индукционных статических преобразователей // А.А. Ставинский, Р.А. Ставинский // Електротехніка і електромеханіка. – 2008. – №2. – с. 53-58.
4. Ставинский, А.А. Перспективы и особенности дальнейшего усовершенствования индукционных электромеханических и статических преобразователей / А.А. Ставинский, И.А. Тищенко, И.И. Зеленый // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2010. – №1(77). – с. 64-69.
5. Белкин, Г. О первых шагах в реформированной электроэнергетике / Г. Белкин, А. Дробышев, В. Ивакин [и др.] // Электроцех. – 2008. – №9. – с. 13-16.
6. Белопольский, И.И. Расчет трансформаторов и дросселей малой мощности. Изд.2-е перераб. и доп. / И.И. Белопольский, Е.И. Каретникова, Л.Г. Пикалова. – М.: Энергия, 1973. – 400с.
7. Майорец, А.И. Магнитопроводы силовых трансформаторов (технология и оборудование) / [А.И. Майорец, Г.И. Пшеничный, Я.З. Чечелюк и др.]. – М.: Энергия, 1973. – 272 с.
8. Тихомиров, П.М. Расчет трансформаторов: [Учеб. пособие для вузов] / П.М. Тихомиров. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.
9. Патент №U201414188 України МПК Н01F 27/24. Спосіб виготовлення магнітопроводу трифазного індукційного статичного пристрою / А.А. Ставинський, Р.А. Ставинський, О.А. Авдєєва. Заявник та власник НУК імені адмірала Макарова. – заявл. 30.11.10014.
10. Ставинский, А.А. Метод сравнительного анализа статических электромагнитных систем, отличающихся структурой и конфигурацией элементов / А.А. Ставинский, Р.А. Ставинский, Е.А. Авдеева // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2014. – №14(90). – с. 53-60.

УДК 621.314.621

Зенов В.С., Коваленко О.В., Овсянников В.М.

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

## АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНОГО ВИКОНАННЯ БЕЗЩІТКОВИХ СУДНОВИХ ГЕНЕРАТОРІВ

**Актуальність** роботи. Враховуючи те, що в даний час без щіткові синхронні генератори (БСГ) є основними джерелами електроенергії практично на всіх судах, кожен судновий електромеханік повинен знати особливості конструкцій таких генераторів. При цьому дуже важливим є те, що правильна технічна експлуатація таких пристроїв – залог безпеки життєдіяльності людини на морі.

**Мета роботи:** розробка заходів по вдосконаленню конструкції БСЕ на підґрунті аналізу конструктивних особливостей сучасних генераторів.

### Викладення основного матеріалу

Існують два типи БСГ, які розрізняються як фізичними процесами, так і економічними показниками. Перший тип - генератори, у яких потік, зчіплюється з обмоткою якоря, періодично змінюється за значенням і напрямком, тобто відбувається перемагнічування магнітопроводу якоря. Другий тип - генератори з пульсуючим магнітним потоком (індукторні). Перший тип БСГ використовують в якості машин середньої та великої потужності при частоті менше 100-120 Гц, другий - в якості високочастотних генераторів малої потужності.

Найбільш часто застосовують генератори з без щітковим синхронним збудником (БСВ) і обмотками збудження, працюючими на постійному струмі. Такий БСН представляє собою синхронний генератор, який одержує енергію збудження від зверненого синхронного генератора (збудника) через випрямляч, розміщений на одному валу з ротором основного генератора. В таких генераторах збудження здійснюється невеликим за розмірами збудником змінного струму, що складається з трифазної обмотки, розташованої на роторі генератора і електромагнітних полюсів, які встановлюють на статорі поруч з обмоткою основної машини [ 4 ].

Обмотка збудження збудника живиться постійним струмом від автоматичного регулятора напруги. Трифазний змінний струм, що генерується в роторній обмотці, випрямляється трифазним мостовим випрямлячем, розташованим на роторній обмотці збудника і надходить на роторну обмотку збудження генератора. Випрямний пристрій безщіткового генератора складається з кремнієвих вентилів, з'єднаних по трифазній мостовій схемі, регульованого баластного резистору і згладжувача конденсатора.

Загальна схема без щіткового синхронного генератора [ 5 ] наведена на рис.1. Основними елементами БСГ є: G - статорна обмотка, вихідна; FG - роторна обмотка збудження генератора; Si - блок обертових кремнієвих випрямлячів; E - роторна обмотка збудника, вихідна; FE - статорна обмотка збудження; EVA - зовнішній реостат задає напруги; AVR - автоматичний регулятор напруги (APH).

Статорна обмотка синхронного генератора покладена в пази заліза статора і являє собою три обмотки, з'єднані зіркою. Конструктивно БСГ об'єднаний з збудником змінного струму і обертовим випрямним пристроєм в один агрегат. Збудник являє собою звернений трифазний синхронний генератор, у якого обмотка збудження є нерухомою її живлення здійснюється безпосередньо від автоматичного регулятора напруги.

У деяких системах збудження і регулювання напруги генераторів [ 2 ] (наприклад, "TAIYO", "MITSUBISHI") обмотка збудження збудника складається з двох частин: основний і керованої від APH, що забезпечує більш надійне початкове збудження. Трифазна роторна обмотка збудника, поєднана зіркою підключена до роторної обмотці генератора через трифазний блок обертаючих кремнієвих випрямлячів, які знаходяться між цими двома обмотками, ближче до збудника, на спеціально змонтованому ізоляційному кільці. Кільце і вентилялі обертаються разом з роторами генератора і збудника і розміщені на загальному валу.

Трифазний змінний струм, що генерується при обертанні в роторній обмотці збудника, випрямляється трифазним випрямлячем, розташованим на роторній обмотці збудника, і постійна напруга надходить на роторну обмотку генератора. Розташування обертових випрямлячів на роторній обмотці збудника зручно як для повітряного охолодження, так і проведення ремонтних робіт при перевірці і заміні вентилів. На додаток, на виході випрямлячу підключається конденсатор згладжування і розрядний резистор для запобігання обмотки збудження і конденсатора від пробую.

Завдяки такій конструкції, зникає необхідність в контактних кільцях і щітках для підведення струму до обмотки збудження генератора. Таким чином, збудник спільно з APH дозволяє підтримувати напругу генератора з заданим відхиленням при малих і великих навантаженнях і забезпечує захист від короткого замикання. Відсутність щіткової апаратури значно підвищує надійність БСГ, скорочує трудовитрати на обслуговування через відсутність вугільного пилу на обмотках. Вони також можуть застосовуватися і на високих частотах обертання первинних двигунів, чим забезпечується більш надійне збудження.

У БСГ, також як і у звичайних синхронних генераторів, є демпферна обмотка. Вона знаходиться на явних полюсах ротора і має вигляд широких мідних шин, з'єднаних в білячу клітку. Призначенням демпферної обмотки

є недопущення коливань напруги при різкій зміні навантаження при паралельній роботі генераторів, а також обмеження підвищення третьої гармоніки напруги при збільшенні навантаження.

В результаті спільних зусиль обмоток статора генератора і збудника створюється результуюча магніторухомі сила а, отже, і потік збудження, забезпечуючи реакцію ротора і падіння напруги в обмотці статора генератора в усіх режимах роботи: від холостого ходу до номінального навантаження.

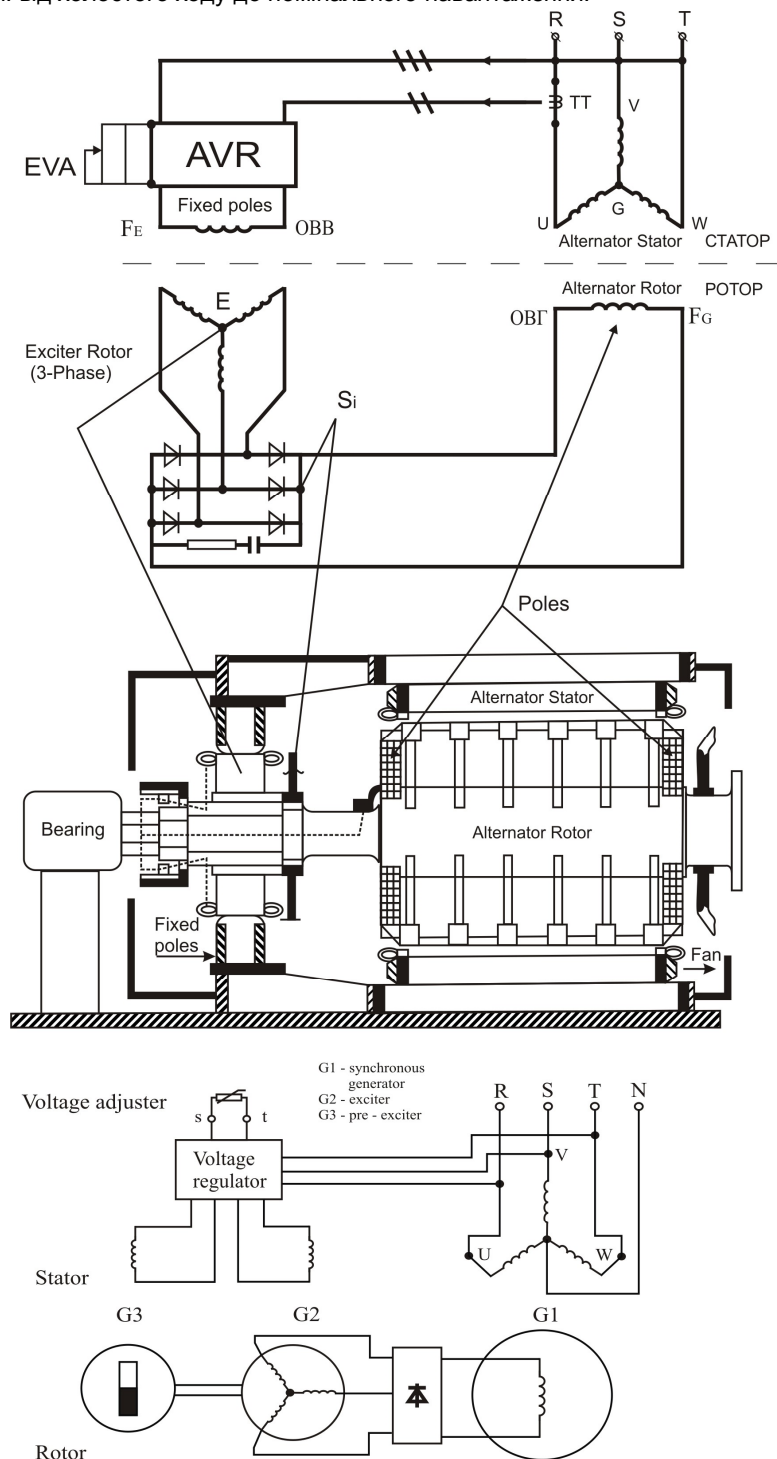


Рисунок 1 – Безщітковий синхронний генератор

Збудник змінного струму являє собою звернений синхронний генератор роторного типу. Ротор встановлений на тому ж валу, що і ротор генератора і являє собою трьох-фазну обмотку змінного струму. Навантаженням збудника є обмотка збудження статора, тому необхідний збудник змінного струму високої частоти: чим вище частота, тим більше збудження.

В даний час без щіткові синхронні генератори успішно використовуються на судах в якості основних і аварійних джерел електроенергії [ 3 ] . В основному БСГ не вимагає особливих трудовитрат на обслуговування. Необхідно лише частіше міняти фільтри на забирання повітря. Таким чином, БСГ забезпечує максимум надійності при мінімумі трудовитрат на обслуговування.

Одним з основних елементів системи збудження синхронних генераторів(рис. 2) є трифазний три обмотковий трансформатор ТWT. Цей трансформатор виконує функції: отримання струму збудження, необхідного для вироблення генератором номінальної напруги на холостому ходу і під навантаженням; підтримки постійного значення номінального напруги шляхом компенсації падінь напруги, що виникають в генераторі відповідно до векторної діаграми; підживлення обмотки збудження генератора сумарним струмом, випрямленим головним випрямлячем.

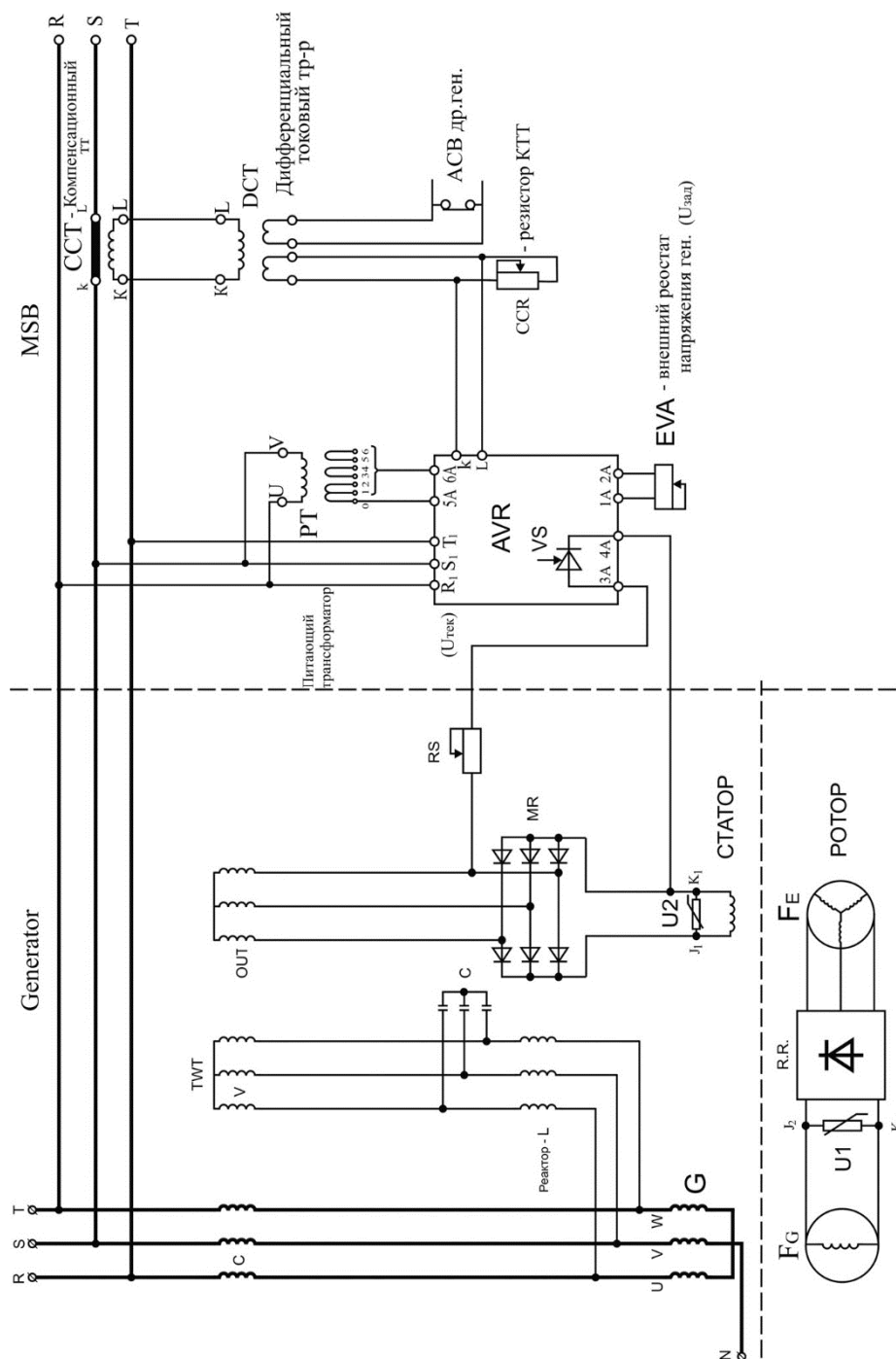


Рисунок 2 – Принципова схема системи збудження і регулювання



Конструктивно трифазний трансформатор являє собою систему з трьох обмоток зі сталевим Ш-образним осердям [ 5 ]. Обмотки які називають обмотками напруги і струму. Зменшений розмір осердя використовується для отримання більш спрощеної конструкції. Обмотки розміщені таким чином, що повітряне простору між проводами настільки мало, наскільки це можливо. І таким чином дана конструкція у великій мірі покращує ефективність відведення температури. Крім того, поверхня ізоляції сконструйована так, що площа незахищеної поверхні на відкритому про-просторі збільшена і як результат – зменшується коливання температури на поверхні ізоляції. В результаті місцевий перегрів всередині обмоток усувається, що збільшує надійність роботи як трансформатора так й БСГ.

*Головний випрямляч MR* необхідний для випрямлення вихідного струму трифазного трансформатора й живлення обмотки збудження генератора і уявляє собою трифазний мостовий випрямляч. Він захищений від зворотного напруги шляхом застосування конденсатора С.

*Реактор змінного струму L* підключається на фазні клема паралельно обмотці статора генератора і призначений для зсуву вектора струму холостого ходу щодо напруги генератора на кут, рівний приблизно  $90^\circ$  у бік відставання. Конструкція реактора така, що величину зазору можна легко змінити.

*Блок конденсаторів С.* Цей ретельно підібраний блок конденсаторів дозволяє виникати резонансу в ланцюзі реактора змінного струму і конденсатора. Тому на струм збудження в генераторі практично не впливають зміни значень опору при підвищенні температури в ланцюзі збудження. Відповідно, напруга генератора є стійкою і не змінюється при змінах температури. Це дозволяє надзвичайно легко підтримувати напруги на постійному рівні, коли генератор запущений і немає необхідності пере збуджувати генератор, у якого невеликий залишковий магнетизм. В результаті маємо можливість підтримувати постійне значення вихідної напруги. В цілому для ланцюгів випрямлення, маючих великі значення індуктивності на вході, вихідна крива напруги спотворена (не синусоїдальною), що перешкоджає управлінню напругою СГ через тиристор. Однак при встановленні конденсатора в ланцюг випрямляча, форма кривої напруги формується таким чином, що забезпечується стійкість контролю зміни змінної напруги генератора.

*Зовнішній реостат уставки напруги EVA* використовується в якості задатчика еталонної напруги, з яким зрівнюється поточна напруга генератора. В цілому, задана напруга встановлюється в діапазоні  $\pm 5\%$  від номінального значення і регулюється зовнішнім резистором. Резистор має такі параметри: опір  $R = 1,5 \text{ k}\Omega$ , потужність  $2 \text{ KW}$ .

*Трансформатор РТ* призначений для живлення ланцюгів АРН. Він задовольняє вимогам по живленню ланцюгів управління і є стандартизованим.

*Компенсатор зрівняльного струму* використовується при роботі генератора в паралелі. Він складається з: компенсаційного токового трансформатора ССТ та різностного токового трансформатора DCT, резистора CCR і нормально замкнутого контакту автоматичного вимикача АСВ. Даний контакт розмикається при включенні на паралельну роботу другого генератора. Таким чином, наявність обмотки DCT АРН2, у підключеного в паралель генератора, забезпечує рівномірний розподіл реактивного навантаження між генераторами.

*Шунтовий резистор RS* є регульованим реостатом для використання в шунтуючому ланцюгу тиристора, встановленого в вихідний ланцюг трифазного трансформатора.

**Висновки.** В порівнянні з звичайними генераторами без щіткового має значні переваги: відсутність вугільного пилу, котрий уявляє собою причину електричних пробіїв; відпадає необхідність заміни щіток й проточки колектора якоря; в конструкції БСГ значно менше механічних навантажень, що дає більш високу надійність при мінімальних трудовитратах на обслуговування; на роботу БСГ не впливає навколишнє середовище; використання БСГ доцільно з економічних міркувань; без щіткові синхронні генератори прості в конструкції та відносно дешевше традиційних генераторів; аналіз конструкції БСГ показує, що існує багато заходів по вдосконаленню конструкції основних елементів генераторів

#### Список використаних джерел

1. Воскобович Ю.В. и др. Электроэнергетические установки и силовая электроника транспортных судов. – СПб.: Элмор, 2001.
2. Manuals automatic voltage regulator: Basler El., Mitsubishi El. Co. TR, Siemens-Thyripart Exc. Sys., TaYo El. MFG. Co. Ltd.
3. Правила класифікації та побудови морських суден, т.т. III та IV. – К.: Регістр судноплавства України, офіційне видання, 2003. – 84 с. и 230 с.
3. Пипченко А.Н. и др. Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления. –Одесса: ТЭС, 2005. – 370 с.
4. Толстов А.А. Устройство и эксплуатация судовых синхронных генераторов [Текст]: учебное пособие для курсантов и студентов морских вузов. – Одесса: ОНМА, 2006. – 150 с.

УДК 621.314.621

*Крицький С. А., Кос Є. В., Овсянников В. М.**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

## ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

**Актуальність** роботи. Особливе місце для розширення економічних відносин між державами займає морський транспорт, на частку якого припадає приблизно 80% загального обсягу світових міжнародних перевезень [1]. Тому план розвитку морської інфраструктури України передбачає широку програму технічного переозброєння існуючого та будівництва нового флоту, здатного забезпечити всі види морських перевезень.

Основою успішності функціонування любого виду транспорту є грамотна технічна експлуатація всіх його систем. Як що проаналізувати крупні морські катастрофи, лише за останні 10 років (а їх відбулося 64 випадку [1]), то можна зробити висновки, що як, правило, причиною аварій на судах (96 відсотків) є людський фактор. Тобто, порушення правил технічної експлуатації завжди призводить до нещасних випадків і, частіше, загибелі людей.

**Мета** роботи: визначення найважливіших особливостей технічної експлуатації суднових електроенергетичних систем з метою розробки посадових інструкцій для суднових електриків та електромеханіків.

**Викладення основного матеріалу.** Збільшення вантажопідйомності і швидкості судів вимагає використання на них більш потужних енергетичних установок, надійних, економічних і зручних в експлуатації. В зв'язку з цим значно підвищуються вимоги до рівня технічної експлуатації судового енергетичного устаткування. Крім того, оснащення суден сучасною технікою без стрункої експлуатаційної системи не дозволяє вирішити питання тривалого використання обладнання з найвищими техніко-експлуатаційними показниками.

Під технічною експлуатацією треба розуміти комплекс технічних і організаційних заходів, що забезпечують ефективне використання і тривалий високий рівень судна в цілому і кожного елемента судового устаткування окремо [7].

Таким чином, технічна експлуатація судової електроенергетичної системи (СЕЕС) займає значне місце.

Величина витрат на технічну експлуатацію багато в чому залежить від досконалості СЕЕС, а також від тривалості експлуатаційного періоду, обсягу і змісту ремонтних робіт, чисельності судового екіпажу, сорту і кількості палив, мастильних матеріалів тощо й правильності вибору режимів роботи установок.

Сучасна система технічної експлуатації флоту передбачає таку організацію, при якій забезпечується значне збільшення експлуатаційного періоду - головного показника, що визначає її рівень. Шляхи збільшення експлуатаційного періоду можна з'ясувати, розглянувши сутність сучасної системи технічної експлуатації.

Річний бюджет часу морського судна розбивається на три [3] періода:

- 1 - експлуатаційний, протягом якого судно виконує виробничі завдання;
- 2 - ремонтний, пов'язаний зі стоянками, необхідними для виконання ремонтних робіт;
- 3 - профілактичного докування.

Різне скорочення ремонтного періоду дозволяє збільшити час перебування судна в експлуатації і підвищити економічні показники його роботи.

Сучасна система технічної експлуатації передбачає скорочення ремонтного періоду за рахунок відмови від щорічних заводських ремонтів і переходу на чотирирічний цикл роботи суден між заводськими ремонтами. Однак збільшення експлуатаційного періоду не є механічним збільшенням тривалості експлуатації.

Передбачаються технічні, організаційні та економічні заходи, що сприяють збереженню рівня технічного стану судна і перешкоджають збільшенню обсягу подальшого заводського ремонту.

*Технічними заходами є:*

- підвищення надійності судового устаткування;
- оснащення суден необхідним обсягом змінно-запасних частин;
- засобами автоматизації;
- створення широкої мережі берегових баз технічного обслуговування.

*Організаційні заходи* обумовлюють створення стрункої системи технічного обслуговування, яка передбачає виконання максимально можливого обсягу планово-попереджувальних робіт з підтримки судового устаткування в справному стані.

Крім того, весь обсяг ремонтних і профілактичних робіт розподіляють між судовими екіпажами і береговими ремонтними підприємствами, чітко планують роботи з технічного обслуговування обладнання в процесі експлуатації судна, готують моряків за кількома робітничими професіями.

Так як технічна експлуатація суднових енергетичних установок передбачає вирішення різних завдань, то її можна розділити на технічне використання і технічне обслуговування.

Технічне використання передбачає забезпечення надійної, ефективної та економічної роботи судової техніки, що сприяє виконанню виробничих завдань.

Досконалість технічного використання визначається:

- чіткою організацією праці суднового екіпажу;
- технічно правильним вибором режимів роботи обладнання;
- ефективністю контролю, підтримки і регулювання цих режимів;
- раціональним використанням палива і мастила;
- виконанням комплексу заходів щодо експлуатації головного двигуна і його систем.

Особою, відповідальною за правильну організацію технічної експлуатації судна в цілому, є капітан. Помічником капітана з технічної частини є старший механік. Він становить розклад по вахті, завідування судно механічної частини, планує і організовує працю машинної команди.

Під організацією праці на судні мається на увазі раціональний поділ функцій членів машинної команди з технічної експлуатації установки. Ці функції поділяються на контроль за процесами, що протікають в установці, і управління ними, і на ремонт суднового устаткування. Першу функцію виконують в процесі несення вахт, а другу - в процесі суднових робіт.

В даний час трудовитрати на технічну експлуатацію в умовах судна в середньому по флоту становлять (%): на контроль-18, на управління-19, на профілактику і ремонт-63 [ 8 ].

Трудовитрати на контроль і реєстрацію параметрів можна знизити шляхом концентрації всіх контрольно-вимірювальних приладів і сигнальних пристроїв на єдиному пульті управління. Це забезпечується широким впровадженням дистанційних контрольно-вимірювальних приладів, апаратури з автоматичним записом параметрів, систем попереджувальної сигналізації та аварійного захисту. Для зниження трудовитрат на управління застосовують автоматизацію процесів управління головними двигунами і допоміжними механізмами шляхом впровадження систем дистанційного автоматизованого управління (ДАУ) і автоматичних пристроїв обслуговування механізмів в умовах роботи на змінних режимах.

Контроль і управління значно спрощуються при комплексній автоматизації установки. У цих умовах можливе зменшення чисельності екіпажу і застосування більш прогресивних форм організації праці.

Такими формами можуть бути [ 5 ] :

- звичайне вахтового обслуговування, але зі зменшеною чисельністю вахтових аж до однієї людини;
- вахтовий обслуговування в денний час;
- без вахтове в нічний час.

У цьому випадку надійність механізмів і засобів автоматики повинна забезпечувати їх безперебійну роботу протягом не менше 16 годин, а реєструючи пристрої повинні забезпечувати фіксацію параметрів в обсязі машинного журналу. На випадок можливих аварій передбачається система виклику чергового фахівця в машинне відділення.

Незважаючи на можливість зменшення чисельності вахтового персоналу на комплексно-автоматизованих судах, для значного зменшення кількісного складу машинної команди особливих можливостей поки немає. Це пояснюється тим, що поряд зі зниженням трудомісткості робіт з контролю та управління частка трудовитрат на технічне обслуговування установки навіть дещо збільшується.

Так як частка трудовитрат на контроль і управління становить приблизно 35% загальної суми, а зменшення її при комплексній автоматизації 70-80%, то, отже, трудовитрати в цілому зменшуються всього на 20-30% [ 8 ].

Профілактичні та ремонтні роботи складають основну частину трудовитрат екіпажу, що пояснюється необхідністю значного застосування ручної праці.

*Технічне обслуговування*-це комплекс технічних і організаційних заходів, що виконуються екіпажем судна і береговими базами для підтримки в справному стані суднової техніки.

В основі технічного обслуговування лежить система планово-переджувальних оглядів та ремонтів. Вона забезпечує своєчасне відновлення техніко-експлуатаційних характеристик суднового устаткування.

Успішне вирішення основних проблем організації технічного використання і обслуговування СЕЕС є засобом подальшого підвищення експлуатаційного періоду.

Шляхами для зниження трудомісткості суднових робіт є:

- впровадження засобів автоматизації СЕЕС;
- зменшення обсягу профілактичних і ремонтних робіт, які виконуються силами суднового екіпажу;
- комплектація механізмів в необхідній кількості змінно-запасними деталями;
- подальше підвищення надійності суднового устаткування.

Механізація трудомісткості процесів передбачає, поряд із застосуванням механізованого інструменту з очищення та фарбування, використання механізованих пристосувань для монтажних і демонтажних робіт на головних двигунах, допоміжних механізмах і суднових пристроях, хімічних способів очищення цистерн і теплообмінних апаратів і ін. [ 4 ].

Роботи з технічного обслуговування суднового устаткування поряд з судновим екіпажем здійснюють берегові ремонтні організації. При складанні плану-графіка профілактичних і ремонтних робіт по судну планує береговим організаціям роботи, виконання яких вимагає спеціального обладнання і кваліфікації виконавців. Суднова команда в умовах плавання повинна виконувати комплекс профілактичних робіт, терміни виконання яких не збігаються з періодичністю заводського ремонту.

Значному спрощенню ремонтних робіт в суднових умовах сприяє наявність необхідного комплексу змінних деталей. Подальшого зниження трудомісткості профілактичних і ремонтних робіт досягають проектуванням та виготовленням суднової техніки, що володіє високою надійністю, великим моторесурсом, зручністю в експлуатації і ремонті. Вибір оптимальних режимів експлуатації суднових дизель-генераторів, що забезпечує надійну і економну їх роботу, є першочерговим завданням технічного використання. Це особливо важливо у зв'язку з існуючою в даний час тенденцією підвищення теплової та механічної напруженості суднових агрегатів [ 5 ]. Рациональне використання палива і мастила передбачає подальше скорочення витрат на паливо за рахунок економного його витрачання, а також широкого використання більш дешевих сортів палива.

**Витрати на паливо.** У розрахунках має бути враховано збільшення витрат важкого палива при спалюванні в циліндрах в зв'язку з його меншою теплотою згоряння і зниженням індикаторного ККД двигуна. Крім того, збільшення витрат пов'язане з втратами в процесі очищення і необхідністю підігріву палива в системі при подачі його до дизеля (в танках основного запасу, відстійних і витратних цистернах, перед сепараторами і перед паливними насосами). Відповідно до досвідчених даних [ 4 ], питома витрата високов'язких палив в порівнянні з дизельними зростає на 4-6%.

**Витрати на спеціальні лужні масла** для малооборотних дизелів визначають з урахуванням того, що частка масла від витрати палива складає 0,3-0,5% [ 5 ].

**Витрати на заміну і ремонт деталей паливної апаратури** (паливних насосів, форсунок). Інтенсивність зносу перерахованих деталей при роботі на важких сортах палива дещо зростає. Однак досвід експлуатації підтверджує, що при використанні високоякісних імпорتنих та вітчизняних циліндрових масел знос циліндрових втулок відносно невеликий і не перевищує 0,08 мм на 1000 годин роботи.

**Витрати на підвищення трудомісткості робіт з обслуговування двигуна**, що працює на важкому паливі, включаючи витрати, на чищення елементів установки. Збільшення трудовитрат машинної команди при роботі установки на високов'язкого паливі викликано в основному більш частим очищенням паливних фільтрів і сепараторів, а також необхідністю посиленого контролю за роботою системи паливної підготовки.

#### **Висновки.**

1. Виконання правил технічної експлуатації суднової енергетичної системи дає можливість значно підвищити надійність роботи енергосистеми й тим самим забезпечити безпеку мореплавання.
2. Запорукою вмілого технічного використання елементів енергетичної установки є високий професійний рівень обслуговуючого персоналу.
3. Основним фактором зменшення чисельності екіпажу судна є комплексна автоматизація СЕЕС.
4. Спрощенню ремонтних робіт в суднових умовах сприяє наявність необхідного комплексу змінних деталей.
5. Зниження втрат на паливо та мастильні матеріали дає можливість підвищити економічність енергетичної систем взагалі.

#### **Список використаних джерел**

1. Морские катастрофы 21 века. <https://www.yandex.ua>
2. Дейного Ю.Г. Эксплуатация судовых энергетических установок, механизмов и систем. Практические советы и рекомендации / Ю.Г. Дейного. -М.: Моркнига, 2012. - 240 с.
3. Методические указания к разделу "Техническое обслуживание и ремонт на уровне эксплуатации" выпускной комплексной работе бакалавра судовой энергетики / Н.В.Шерстнев. - Севастополь: СевНТУ, 2013.
4. Правила освидетельствования судов (ПОС – 2007-2008) Бюллетень изменений и дополнений № 1//Регистр судоходства Украины. - Киев. - 2009. - 131 с.
5. Судовые энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания. Пахомов Ю.А. ТрансЛит, 2007.
6. Техническая эксплуатация судовых энергетических установок. Учебное пособие. Башуров Б.П. МГА им. Адмирала Ушакова/ Новороссийск. 2007, 196 с.
7. Хайдуков О.П. и др. Эксплуатация электроэнергетических систем морских судов: Справочник / О.П. Хайдуков, А.Н. Дмитриев, Г.Н. Запорецев. – М.: Треспорт, 1988. – 223 с.
8. Эксплуатация судовой электроэнергетической системы. Методические указания для самостоятельной работы студентов дневной и заочной форм обучения по специальности 0701042 «Эксплуатация СЭУ» при подготовке к государственной аттестации на квалификационно-образовательный уровень бакалавра и специалиста и при выполнении раздела дипломного проекта «Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления»/ Сост. Г.В. Гоголев, С.А. Конева. - Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2011. - 29 с.

УДК 621.314.621

*Зенов В.С., Кос Є.В., Крицький С.А., Овсянников В.М.**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв*

## УПРАВЛІННЯ ГЕНЕРАТОРНИМ РОЗПОДІЛОМ ЕНЕРГІЇ З СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ

**Актуальність** роботи. Сучасний період розвитку суднової енергетики характеризується тим, що, практично, всі судна великого дедвейту оснащують системами керування потужності енергетичних установок. Функціональні можливості таких систем забезпечують економічну роботу всієї установки й підвищують її надійність. Таким чином, аналіз режимів роботи інтегрованих систем управління потужністю є дуже важливим завданням при розрахунках електроенергетичної установки судна.

**Мета роботи:** розрахунок потужності суднової електростанції з системою керування потужності.

**Викладення основного матеріалу.** Управління потужністю є групою функцій, і включає в себе контроль і моніторинг виробництва та споживання електроенергії. Основним її завданням є управління генерацією електроенергії та безперебійне постачання електричної потужності, уникання відключень найбільш важливих споживачів. Система контролює та спостерігає за приводом генераторів, щитовим обладнанням та споживачами. У разі несправності в електричній мережі, система управління потужністю відновлює живлення за мінімальний обсяг часу. Система управління потужністю (СУП) має різні можливості управління: повне автоматичне, дистанційне та локальне.

СУП являється поєднанням людського досвіду, ефективного автоматичного контролю і моніторингу системи.

Безпечний, надійний та ефективний моніторинг із контролем електричної потужності важливий для підтримки функцій судна у всіх експлуатаційних умовах.

СУП для силової установки повинна підтримувати доступну потужність для виконання необхідної тяги в будь-яких умовах роботи. Управління тягою відіграє важливу роль в операціях, пов'язаних із системою динамічного позиціонування (DP), і на сьогодні вже існують керовані такі системи. Майбутні системи будуть включати в себе різні методи вимірювання фактичної тяги [ 1,4 ].

Існують різні функції управління та контролю, які можуть бути інтегровані в одну систему, або бути відокремленими [ 3 ]. Основними складовими є: система управління живленням; систем управління генерацією живлення; система контролю наявної потужності; система відключення навантаження; система відновлення живлення після поламки.

### **Система управління живленням (PMS)**

- Система управління енергією (EMS)
- Система управління живленням та енергією (PEMS)
- Система управління надійністю (RMS)
- Інтегрована система управління платформою (IPMS)
- Інтегрована система автоматизації судів (IAS)

В електричних силових установках зазвичай різні системи взаємодіють одна з іншою.

Наступні функції являються стандартними функціями в СУП:

### **Управління генерацією живлення (управління генератором)**

- Автоматичний запуск і підключення генераторів (DDG), після отримання попереджувального сигналу
- Запуск і підключення генераторів залежно від навантаження
- Вимкнення і відключення генераторів залежно від навантаження
- Моніторинг критичних параметрів
- Управління режимами
- Max./min генераторів
- Синхронізація та розподіл навантаження
- Контроль потужності та напруги
- Контроль активної та реактивної потужності
- Контроль навантаженням

### **Наявна потужність**

- Контроль навантаження "динамічних" споживачів з метою запобігання перевантаження генератора
- Контроль перетворення
- Контроль двигуна
- Визначення конфігурації мережі

### **Відключення навантаження**

- Контроль над автоматичними вимикачами

### **Відновлення після поломки**



- Перезапуск

На рис. 1 наведена СУП (PMS), котра поділена на дві частини: PMS A та PMS B. Одна для кожної сторони судна [1, 2]. Зворотній зв'язок від вимикачів вузлів (tiebreakers) використовується для визначення режиму розподільного щита (розщеплений або з'єднаний режим). При розірванні кола вузла / секції, кожна половина має СУП, яка працює незалежно одна від одної, PMS A і PMS B. Обидві PMS A та PMS B (два розділені контролери) отримують сигнал активної потужності (kW) від усіх генераторів, та обчислюють доступну потужність для мережі. Доступний сигнал потужності дається від кожної PMS кожним перетворювачем частоти. Якщо управління навантаженням PMS A виходить з ладу, PMS B візьме контроль над навантаженням на себе.

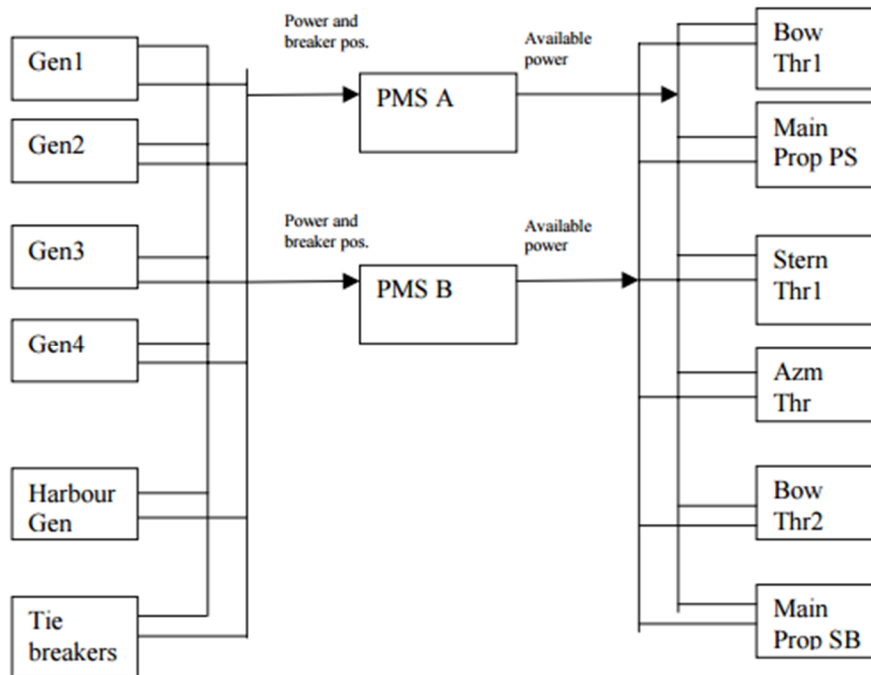


Рисунок 1 — Схема СУП лівого (PMS A) та правого (PMS B) бортів

Коли шини з'єднані, вони будуть діяти як одна система щодо обчислення потужності, вибору режиму генератора, моніторингу пуску / відімкнення / залежно від навантаження.

У звичайному машинному відділенні з більш низьким рівнем автоматизації система керування централізована в одному контролюючому блоці (центральный процесор) і багатьох місцевих блоках керування (LCU), які розподілені в машинному відділенні. Головна станція оператора розташована в тому ж самому місці, де й центральний процесор - приміщенні ЦПУ або рубці. На суднах з високим рівнем автоматизації, які експлуатуються сьогодні, розподіл функцій PMS відбувається в декількох блоках. На рис. 2 показано інтеграційну систему, яка охоплює зв'язки з судновою мережею, між постами керування, програмувальними логічними контролерами (PLC) і двигунами підрулюючого пристрою [ 1 ].

Станції керування (PCS, PCU) або віддалені блоки процесора (RPU) є PLC, всі підстанції PMS або PCS, є складовими в системі керування потужністю. Всі елементи системи виконують обчислення, засновані на інформації, отриманої від її власної шини. У випадках, коли судно повинне продовжити працювати з енергетичною системою, що розділена на дві або більше ізольовані підсистеми, у кожній енергетичній системі буде своя власна підстанція PMS, і кожна підстанція PMS може діяти як автономна одиниця. Для менших суден типово використовується інше поняття. Там кожен контролер відповідає за станцію в цілому з функціональними режимами експлуатації й режимами готовності.

Управління генераторним розподілом при одиничній відмові й максимальному короточасному навантаженні [1].



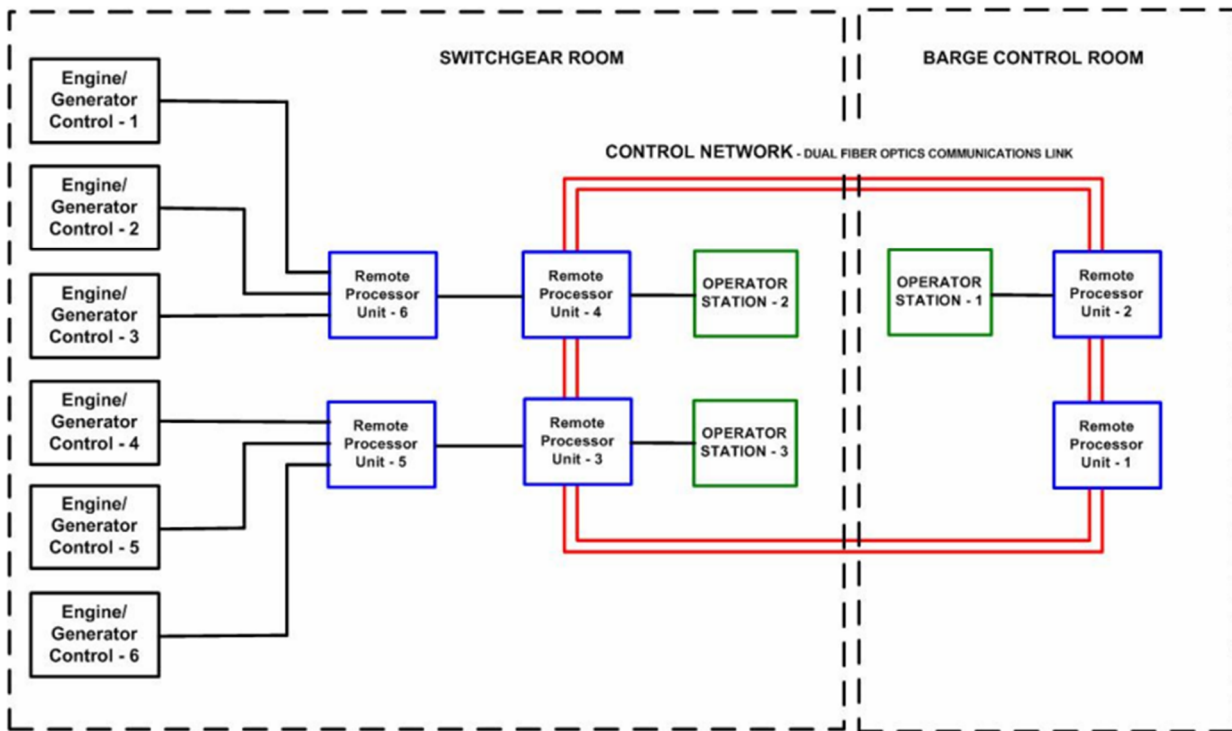


Рисунок 2 — Функціональна інтеграція й інформаційний розподіл в СУП

Система керування потужністю повністю контролює споживання потужності й порівнюють його з доступним виробітком. Система може автоматично запускати й зупиняти генераторні агрегати зі зміною навантаження. У випадку раптової відмови генераторної установки навантаження енергетичної системи буде передана іншим генераторам. Тоді, інші генератори повинні взяти іншу частину навантаження системи. Перехідне частотне відхилення обмежене  $\pm 10\%$  відповідно до правил суспільства класу (IACS, 2004). Формування частотного обмеження почне відкриття вимикача (ів) для інших генератора (ів). Наслідком цього буде аварійне відключення електроживлення. Щоб уникнути аварійного відключення, система FLR повинна зменшити навантаження перш, ніж частота досягне передчастотної границі. Короткочасне навантаження в системі, коли  $N_f$  виключений (відмова) із  $\kappa$  блоками визначена рівнянням 1 [1]:

$$\Delta P_{tran}(\kappa, N_f) = \sum_{f=1}^{N_f} P_{gf}(\kappa, N_f) \quad (1)$$

де  $P_{gf}$  – навантаження генераторів, які відключені. Головна вимога правил суспільства класу - опір короткочасній відмові. Щодо цього, межі звичайно обчислюються для ситуації, у блоці якому відбувається відмова, тобто блок з найвищим навантаженням:

$$P_{gf}(\kappa) = \max_i P_{gi}(\kappa), \text{ для } j \in [1, \kappa] \quad (2)$$

де  $P_{gi}$  - поточне навантаження генератора. Кожен генератор вносить кількість потужності, пропорційної її інерції, тобто її інерційний час  $H_i$  і номінальна потужність  $P_{r,gi}$ . Припускаючи, що генератори залишаються в синхронізмі, що впливає з рівняння, щоб обчислити навантаження, що може взяти генератор:

$$\Delta P_{tran,gi}(\kappa, N_f) = \frac{H_i P_{r,gi}(\kappa)}{\sum_{i=1}^{\kappa-N_f} H_i P_{r,gi}} \Delta P_{tran}(\kappa, N_f) \quad (3)$$

де  $H_i$  - інерційний час, постійне для кожної генераторної установки в секундах, і  $P_{r,gi}$  - номінальна потужність генератора. Коли відмова відбудеться, дефектні генератори  $N_f$  будуть роз'єднані, і  $K - N_f$  генераторні установки залишаться включеними.

Випадкове навантаження генератора визначене як сума навантаження генератора й кроку випадкового навантаження:

$$P_{tran,gi}(\kappa, N_f) = P_{gi} + \Delta P_{tran,gi}(\kappa, N_f) \quad (4)$$

#### Навантаження, що залежить від запуску генераторних агрегатів [1]

Для енергетичної системи, обладнаною системою FLR, так само як для системи без FLR, може бути відвернене аварійне відключення електроживлення, поки максимальний крок випадкового навантаження нижче або дорівнює припустимій, згідно:

$$\Delta P_{tran,gi}(\kappa, N_f) \leq \min[\Delta P_{tran,gi}^{\max}(a_{\max,g}, t_{FLR,i}), \Delta P_{FLR,gi}^{\max}], \quad (5)$$

$$\Delta P_{tran,gi}^{\max}(a_{\max}, t_{FLR,i}) = \begin{cases} \min(a_{\max,g} P_{r,gi} - P_{gi}, \Delta P_{gi}^{\max}), & \text{без FLR} \\ \Delta P_{tran,gi}^{\max}(t_{FLR,i}), & \text{с FLR} \end{cases}$$

$$\Delta P_{FLR,gi}^{\max} = \frac{H_i P_{r,gi}(k)}{\sum_{i=1}^{K-N_f} H_i P_{r,gi}} \Delta P_{FLR,g}^{\max},$$

де:

- $\Delta P_{FLR,g}^{\max}$  - максимальна потужність, доступна для FLR, що залежить від навантаження споживачів, доступних для FLR. Припустимо  $\Delta P_{FLR,g}^{\max} \geq \Delta P_{tran,gi}^{\max}(a_{\max,g}, t_{FLR,i})$ , отже  $\Delta P_{FLR,g}^{\max}$  нехтуємо у рівнянні 5;

- $a_{\max,g}$  - максимально дозволене постійне навантаження;
- $\Delta P_{gi}^{\max}$  - крок найбільшого навантаження, визначений у тексті нижче;
- $t_{FR,i}$  - час відповіді системи FLR, необхідне для зменшення навантаження споживачів. Дозволений крок випадкового навантаження, для систем, обладнаних системою FLR, залежить від часу, яких необхідно для системи керування, щоб зменшити навантаження споживачів  $t_{FR,i}$ .

Без системи FLR максимальне випадкове навантаження не могло бути більше чим максимально дозволене двигуном навантаження  $a_{\max,g} P_{rg,i}$ . Постійна  $a_{\max,g}$  відрізняється серед різних двигунів і залежить від деталей у машинному проекті. Звичайно:

$$1,1 \leq a_{\max,g} \leq 1,15 \quad (6)$$

Як правило, дизелі не здатні, прийняти відразу навантаження більше чим  $0,25P_{rgi}$  до  $0,33P_{rgi}$ . Через обмеження в прийнятті навантаження, повинен бути включений наступне обмеження:

$$\Delta P_{gi}(k, N_f) \leq \Delta P_{gi}^{\max} \quad (7)$$

Тому, ця проблема виникає тільки із включеними 2 генераторними агрегатами:  
 $\Delta P_{gi}(k=2, N_f=1) = 0,55 P_{rgi}$ .

Максимальна безперервна безпечна межа навантаження (межа аварійного відключення електроживлення) для генератора визначений, коли (4) перетворюється в (8) згідно:

$$P_{cont,gi}^{\max}(k, N_f) = P_{tran,gi}(k, N_f) - \Delta P_{tran,gi}^{\max}(a_{\max,g}, t_{FLR,i}). \quad (8)$$

Щодо числа включених генераторних агрегатів  $k$ , слідуючий блок повинен включитися перш, ніж навантаження досягне максимально припустимої межі. Таким чином, безпечна експлуатаційна область генератора для запуску блоку обмежена:

$$P_{gi}(k) \leq P_{start,gi}(k) \leq \min(P_{cont,gi}^{\max}(k, N_f), P_{rgi}), \quad (9)$$

де  $P_{start,gi}(k)$  є потужністю, коли наступний блок  $k+1$  починається для випадку із включеними  $k$  блоками, тобто  $P_{start,gi}(k) = P_{gi}(k) = P_{gi}(k+1)$ . Функція  $\min$  визначає мінімальне значення серед максимально припустимої безпечної межі й номінальної потужності. Хоча максимально дозволене рухове навантаження визначає максимальну рухову продуктивність, тривалу дію не дозволене в області:

$$a_{\max,g} P_{rg,i} > P_{rg,i}.$$

Максимальне дозволене розподілене навантаження звичайно обчислюється в так званих таблицях включеного навантаження, як показано в прикладі, даному в Таблиці 1 (Дизель MAN SE). Таблиця показує ситуацію, коли один з однаково номінальних блоків відмовляє. Передбачається, що розподіл навантаження між генераторними установками дорівнює, тобто всі блоки однаково завантажені.

Таблиця 1 Навантаження, що залежить від пуску однакових генераторів

| Число включених генераторів | Навантаження генератора – перед відмовою<br>$P_{gi}(k) / P_{rgi}$ | Навантаження генератора – після відмови<br>$P_{gi}(k, N_f) / P_{rgi}$ | Крок найбільшого навантаження,<br>$\Delta P_{rgi}(k, N_f) / P_{rgi}$ |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 2                           | 0,55                                                              | 0,55 2/1=1,10                                                         | 0,55                                                                 |
| 2                           | 0,60                                                              | 0,60 2/2=0,90                                                         | 0,20                                                                 |
| 4                           | 0,74                                                              | 0,74 4/2=0,98                                                         | 0,24                                                                 |
| 5                           | 0,80                                                              | 0,80 5/4 ≈ 1,00                                                       | 0,2                                                                  |
| 6                           | 0,82                                                              | 0,82 6/5 ≈ 1,00                                                       | 0,17                                                                 |
| 7                           | 0,86                                                              | 0,86 7/6 ≈ 1,00                                                       | 0,14                                                                 |

#### Розподіл навантаження

Навантаження в блоці залежать від постійного розподілу навантаження, певною системою керування потужністю:

$$P_{gi}(k) = S_{gi}(k) P_g, \quad (10)$$

де  $S_{gi}(k)$  є постійно розподіленим навантаженням, що залежить від числа включених блоків  $k$ . Наступне рівняння показує щоб уникнути обмеження навантаження або перевантаження по потужності на будь-якому генераторі:

$$P_g = \sum_{i=1}^k S_{gi}(k) P_g = \sum_{i=1}^k P_{gi}(k), \quad (11)$$

що означає, що повна дія всіх генераторів, які перерозподіляють повне споживане навантаження  $P_g$ , повинне бути рівне тому навантаженню. Тоді, основний розподіл навантаження, повинне бути:

$$\sum_{i=1}^k S_{gi}(k) = 1 \quad (12)$$

Відповідно до правил класу, повинна бути отримана рівне навантаження, розподілене між генераторними агрегатами:

$$\frac{P_{gi}(k)}{P_{rgi}(k)} = \frac{P_{g,i+1}(k)}{P_{rg,i+1}(k)}, \text{ для всіх } i \in [1, N_g] \quad (13)$$

де  $N_g$  - загальна кількість установлених блоків у систему, що означає, що наступне рівняння повинне триматися в нормальних стійких умовах, відповідно до правил класу:

$$\frac{S_{gi}(k)}{P_{rgi}(k)} = \frac{S_{g,i+1}(k)}{P_{rg,i+1}(k)} \text{ для всіх } i \in [1, N_g]. \quad (14)$$

#### **Випадок 3 однаково номінальними блоками**

Згідно (14), якщо  $P_{r,gi}(k) = P_{r,gi+1}(k)$ , те  $S_{gi}(k) = S_{gi+1}(k)$ .

Тоді (1.12) буде:  $P_g = i = \sum_{i=1}^k S_{gi}(k) P_g = k P_{gi}(k) \quad (15)$

Навантаження, для однаково номінальних блоків буде:  $S_{gi}(k) = \frac{1}{k} \quad (16)$

Звичайно, всі генераторні агрегати, установлені на судні, поставляються від того ж самого виготовлювача. Тому, в однаково номінальних генераторів буде той же самий постійний час інерції  $H_i = H_{i+1}$ .

Крок навантаження на генераторі для однаково номінальних блоків обчислений в (3). Якщо всі блоки мають однакові характеристики, інерційність, і розділяють навантаження однаково, то (3) спрощується:

$$\Delta P_{tran,gi}(k, N_f) = \frac{P_{r,gi}(k)}{k P_{r,gi}(k, N_f) - N_f P_{r,gi}(k, N_f)} N_f P_{gf}(k, N_f). \quad (17)$$

Нарешті, спрощене рівняння для кроку навантаження з однаково номінальними блоками, коли один блок відмовляє, буде:

$$\Delta P_{tran,gi}(k, N_f = 1) = \frac{1}{k-1} P_{gi}(k). \quad (18)$$

Можна помітити, що безпечна експлуатаційна область збільшиться із числом включених генераторів  $k$  обумовлене зменшенням перехідного навантаження генератора  $\Delta P_{tran,gi}(k, N_f)$ .

**Висновки:** 1. Використання системи контролю потужності дає можливість зменшити запас необхідної розрахункової потужності суднової електроенергетичної системи. 2. Найбільш ефективна система управління та контролю, яка поєднана в інтегровану одну систему. 3. Корисними складовими для інтегрованої системи є: система управління живленням; систем управління генерацією живлення; система контролю наявної потужності; система відключення навантаження; система відновлення живлення після аварії. 4. Важливим моментом формування конструкції електростанції судна є вибір однотипних генераторних агрегатів, котрі мають однакові характеристики,

інерційність, і однаковий розподіл навантаження. 5. Надійність судової енергетичної системи збільшується в випадку зменшення перехідного навантаження для кожного генераторного агрегату.

#### Список використаних джерел

1. Erikstad, Stein O. A Decision Support Model for Preliminary Ship Design. Fredheim, Arne Current Forces on Net-Structures.
2. Ivar J. Fylling Analysis of towline forces in ocean towing systems.
3. Smogeli, Øyvind Notland Control of Marine Propellers. From Normal to Extreme Conditions.
4. Steinebach, Christian Knowledge Based Systems for Diagnosis of Rotating Machinery.

#### УДК 621.313

*Захаров Е. А., магістрант групи 6363м*

*Швыдкий Н. Н., магістрант групи 6363м*

*Халанчук П. Н., магістрант групи 6363мз*

*Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев*

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

В судовой электроэнергетике особенно остро стоят вопросы повышения надежности электрических машин, экономичности работы электростанции и уменьшения токов короткого замыкания для повышения электродинамической и термической устойчивости электрических аппаратов и машин. Существует достаточно много предложений по их решению.

Цель работы – рассмотреть возможные способы повышения энергоэффективности и надежности судовой электростанции за счет совершенствования конструкции электротехнических устройств.

Для повышения надежности функционирования синхронного генератора в морских условиях одним из основных решений является использование бесщеточной системы возбуждения, которая предполагает размещение на валу синхронного генератора еще одной электрической машины – обращенного синхронного генератора, работающего в качестве возбудителя и обеспечивающего передачу электромагнитным путем энергии к обмотке возбуждения основного генератора [1]. Однако, как показывают некоторые исследования, существует возможность значительно повысить показатели устойчивости и управляемости генераторного агрегата за счет введения регулирования возбуждения в двух взаимно перпендикулярных осях [2]. Если путем регулирования добиться поддержания угла вылета ротора (угла между изображающим вектором напряжения и поперечной осью индуктора) равным нулю во всех рабочих установившихся режимах, то регулирование в поперечной оси в функции от угла вылета ротора позволяет максимально демпфировать малые механические колебания ротора и значительно повысить степень устойчивости параллельной работы генераторов. Бесщеточная система такого генератора должна предполагать уже два возбудителя, что с конструктивной точки зрения удлиняет вал и увеличивает массогабаритные показатели. Возможен и другой вариант реализации данной системы. Если магнитные системы обоих возбудителей сделать с полюсностью, отличающейся в два раза, их можно объединить в одну, то есть совместить, что позволит улучшить массогабаритные показатели.

Для повышения экономии топлива очень часто применяют в качестве генерирующего элемента валогенератор. Учитывая то, что топливо для главных дизельных двигателей судовой энергетической установки дешевле, чем для двигателей электростанции, а также тот факт, что мощность главных двигателей на порядок выше суммарной мощности электростанции, это позволяет более эффективно использовать топливо. Однако частота гребного вала меняется и возникает вопрос о поддержании частоты выходного напряжения валогенератора на постоянном уровне. Решений достаточно много: от использования асинхронного генератора до выпрямительно-инверторного устройства. Если недостаток первого в узком допустимом диапазоне изменения частот вращения ротора и в необходимости регулируемого источника реактивной мощности, проблема второго решения в генерировании высших гармоник в сеть, что предполагает установку фильтров и в совокупности с самим выпрямительно-инверторным устройством резко увеличивает стоимость валогенераторной установки в целом. Однако, есть и другое решение. Использовать в качестве валогенератора бесконтактный асинхронизированный синхронный генератор. На его валу располагается симметричная трехфазная обмотка возбуждения, которая получает питание от источника трехфазного напряжения переменной амплитуды и частоты. Частота регулируется таким образом, чтобы относительно обмотки статора поле возбуждения всегда вращалось с одной и той же частотой. Регулирование амплитуды напряжения определяется необходимой амплитудой тока возбуждения для поддержания напряжения статора на заданном уровне. Бесконтактная система возбуждения такого генератора должна содержать обращенную синхронную машину в качестве возбудителя и преобразователь частоты на валу генератора, выходная частота которого определяется как разность между частотой вращения ротора и заданной. Мощность такого преобразователя частоты в десятки раз меньше, чем в рассмотренном ранее случае, что значительно уменьшает себестоимость и массогабаритные показатели валогенераторной установки.

Мощность судовых электростанций и потребителей электроэнергии имеет тенденцию в мировой практике к постоянному росту. Это ставит задачи по совершенствованию коммутационной аппаратуры, так как повышаются уровни коммутируемых токов (особенно, токов короткого замыкания). Как известно, количество возможных коммутаций выключателем токов короткого замыкания на пару порядков меньше, чем коммутаций рабочих токов. Поэтому ограничение токов короткого замыкания положительно сказывается на времени эксплуатации автоматических выключателей. На современных судовых электростанциях большой мощности (более 12 МВт) с технической точки зрения целесообразно использовать высоковольтные генераторные агрегаты напряжением 6..10 кВ с последующей трансформацией электроэнергии на более низкий уровень напряжения 400 В [3, 4]. Наличие трансформатора и привело к идее внедрения в данных электростанциях трансформаторов с подмагничиванием магнитного шунта, который отвечает часть магнитного потока первичной обмотки. В нормальном режиме шунт путем поперечного подмагничивания имеет высокое магнитное сопротивление, и весь магнитный поток протекает через вторичную обмотку. В режиме короткого замыкания подмагничивание шунта снимается, и большая часть магнитного потока ответвляется в шунт, во вторичную обмотку индуцируется значительно меньшая ЭДС, что приводит к ограничению тока короткого замыкания.

#### Список использованных источников:

1. Бут Д. А. Бесконтактные электрические машины: Учеб. пособие для электромех. и электроэнерг. спец. вузов. [Текст] / Д. А. Бут. – М.: Высш. шк., 1990. – 416 с.
2. Осин И. Л. Электрические машины: Синхронные машины: Учеб. пособие для вузов по спец. Электромеханика/ Под ред. И. П. Копылова. [Текст] / И. Л. Осин, Ю. Г. Шакарян. – М.: Высш. шк., 1990. – 304 с.
3. Китаенко Г.И. Перспективы развития судовой электротехники. [Текст] / Г.И. Китаенко, Ю.П. Коськин, Ю.А. Светликов, В.Ф. Самосейко. – Л.: Судостроение, 1980. – 188 с.
4. Граве В.И. Электропожаробезопасность высоковольтных судовых электроэнергетических систем. Учебное пособие. [Текст] / В.И. Граве, В.В. Романовский, В.М. Ушаков. – СПб.: "Элмор", 2003. – 160 с.

УДК.629.12. 066:621.311.001

*Ставинський Р. А., к.т.н., доцент, Філіпчук О. М., Гавриленко Г. В.*

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

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТРИФАЗНОГО АКТИВНОГО ВИПРЯМЛЯЧА НАПРУГИ НА ЄДИНУ ЕЕС

**Вступ** Одним з перспективних напрямків розвитку сучасного суднобудування, на думку [1, 2, 3], є концепція створення «повністю електричного судна» (Full Electric Ship, FES), реалізація цієї концепції неможлива без створення сучасного енергетичного ядра судна – єдиної електроенергетичної системи (ЄЕЕС).

Об'єднання електротехнічних і енергетичних комплексів у єдину електроенергетичну систему (ЄЕЕС), що вирішує завдання як забезпечення споживачів власних потреб, так і руху судна в цілому, ускладнило чисто електротехнічні питання, розв'язувані раніше автономно. Використання на судах потужних споживачів привело до різкого збільшення встановленої потужності електростанцій, що, у свою чергу, зажадало збільшення напруги на шинах головних розподільних щитів. Різко змінилися параметри генераторних агрегатів судових електростанцій (СЕС). З'явилася необхідність у дослідженні можливості застосування в складі СЭС раніше невідомих перспективних генераторних агрегатів. Крім того, наслідки аварійних режимів стали більш загрозливими, що зажадало додаткових досліджень штатних і аварійних режимів роботи генераторних агрегатів судових електростанцій [3].

**Метою дослідження** є – побудова моделі єдиної електроенергетичної системи судна і на її основі виявлення проблем з якістю електричної енергії в системі й способи їх усунення.

**Основна частина.** Завдяки появі нових технологій, з'явилася можливість значно просунутися в цьому перспективному напрямку розвитку сучасного суднобудування [4].

Силова електроніка дала можливість використовувати напівпровідникові перетворювачі частоти (ПЧ) великої потужності для створення потужних перетворювальних комплексів і розширення діапазону застосування гребних електричних установок (ГЕУ), судових електроприводів, технологічних механізмів і встаткування й ін.. Удосконалювання ж технологій створення гвинто-кормових колонок (ГКК) дозволяє відмовитися від стерна і носових пристроїв, що підрулюють, забезпечуючи відмінні динамічні якості й маневреність судна.

ЄЕЕС суден з електрорухом є найскладнішими машинно-вентильними комплексами, що включають у себе головні синхронні турбо- і дизель-генератори, гребні електродвигуни (ГЕД) з потужними силовими ПЧ, ГКК і системи приймання й розподілу електроенергії. Функціональні зв'язки між елементами ЄЕЕС, описуються системами нелінійних алгебраїчних і диференціальних рівнянь високого порядку. Це характеризує ЄЕЕС як складну динамічну систему. Тому при проектуванні судових ЄЕЕС необхідно однаково ретельно розглядати процеси як в електричних машинах, так і в ПЧ.

Розробка багатоагрегатних СЕС, транзисторних і тиристорних гребних електричних установок (ГЕУ), судових електроприводів, технологічних механізмів і встаткування й ін. пов'язана з аналізом нових схем і більшим об-



сягом розрахунків як при виборі структури й елементів силової частини, так і при виборі складу й алгоритмів системи керування. Застосування сучасного програмного продукту Matlab з додатком Simulink для математичного моделювання дозволяє суттєво спростити завдання створення моделей електроенергетичної системи і її елементів. Для аналізу використана типова структурна схема суднової енергетичної системи судна з електрорухом (рис.1).

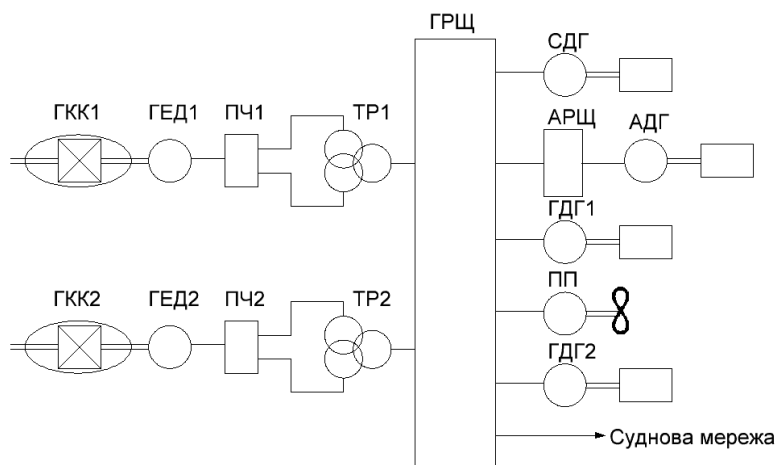


Рис.1 Структурна схема єдиної енергетичної системи судна

Побудована комп'ютерна модель виявила проблему з наявністю вищих гармонік вище допустимого рівня. Отримана синусоїда відрізняється від еталонної синусоїди. Головною причиною зміни форми синусоїди є гармоніки вищого порядку, що генеруються ПЧ. Більшість перетворювачів частоти мають у своєму складі некеровані діодні або керовані транзисторні й тиристорні випрямлячі напруги. Дані випрямлячі споживають із мережі струми, що мають у своєму складі велику кількість вищих гармонійних складових. Форма цих струмів має кусочно-розривний характер, а наявність фазового зрушення між напругою мережі й споживаним перетворювачем струмом суттєво знижує коефіцієнт потужності даного перетворювача.

Успішним вирішенням даних проблем може служити випрямляч, що складається з повністю керованих силових ключів, так званий активний випрямляч напруги. Трифазні активні випрямлячі напруги (ABH) ставляться до порівняно нового класу перетворювачів, які можуть працювати у випрямному й інверторному режимі, передаючи енергію з мережі змінного струму в ланцюг постійного й назад, тобто міняючи напрямок потоку потужності. При цьому змінюється напрямок струму при незмінній полярності напруги [4,5,6]. Принципова схема для дослідження ABH показана на рис. 2.

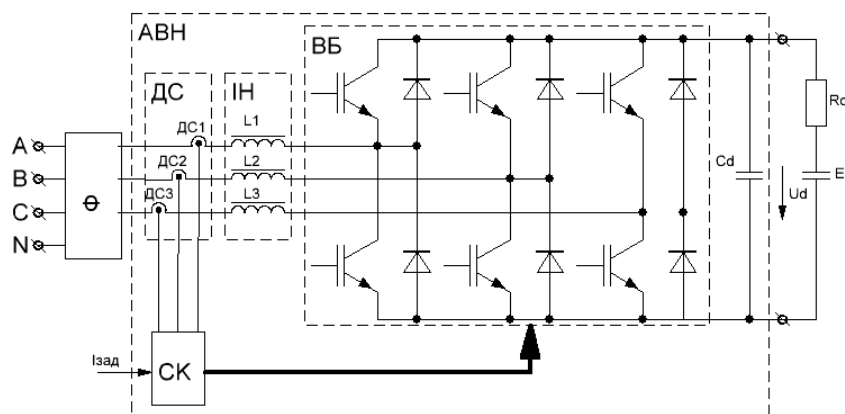


Рис. 2. Принципова схема ABH

У цих перетворювачах поліпшений гармонійний склад струму, споживаного з мережі, а також є можливість одержання бажаного значення коефіцієнта потужності, у тому числі близького до одиниці. ABH можуть застосовуватися, принаймні, у трьох випадках [4]:

- 1) для одержання стабільної постійної напруги від мережі змінного з можливістю рекуперації енергії;
- 2) у якості першої ланки у дволанкових перетворювачах для живлення двигунів постійного струму з можливістю регулювання швидкості й рекуперативного гальмування;
- 3) у якості першої ланки у дволанкових перетворювачах для живлення асинхронних двигунів з можливістю регулювання швидкості й рекуперативного гальмування.

На сьогоднішній день існує кілька підходів до керування активними випрямлячами напруги, найбільш перспективними з яких є:

- 1) алгоритми, засновані на контролі напруги: керування споживаними з мережі струмами по положенню узагальненого вектора напруги мережеві і пряме керування потужністю (алгоритм заснований на принципі прямого керування активної й реактивної потужностями за допомогою вибору станів ключової схеми, залежно від положення узагальненого вектора напруги);
- 2) алгоритми, засновані на понятті віртуального потокозчеплення: керування споживаними з мережі струмами по віртуальному потокозчепленню і пряме керування потужністю по віртуальному потокозчепленню

**Висновки.** 1. За результатам здобутого спектрального аналізу і зовнішньому вигляду осцилограм можна наочно судити про високу синусоїдальності струму, споживаного з мережі, й малих викривленнях синусоїдальності напруги суднової мережі, частка гармонік у струмі й напрузі мережі становить частки відсотка.

2. Малі динамічні втрати в IGBT транзисторах нового покоління дозволяють суттєво підвищити ККД АВН (до 97-98%) і зменшити габарити індуктивного накопичувача, мережного фільтра й вихідного конденсатора за рахунок підвищення частоти імпульсної модуляції.

#### Список використаних джерел

1. Романовский В.В., Лебедев А.И., Гостев А.Г. Качество электроэнергии гребных электрических установок судов ледового плавания и ледоколов. / Вестник государственного университета морского и речного флота С.О. Макарова - СПб.: ГУМРФ, 2014. №6 (28). С. 56 – 60.
2. Губанов Ю. Электротехнические системы кораблей и судов: этапы развития, автоматизация. Концепция электрического корабля – М.: CONTROL ENGINEERING РОССИЯ №3 (51), 2014. С.24-27.
3. Васин И.М. Расчет и моделирование режимов работы единых электроэнергетических систем судов с электродвижением. // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13535> (дата обращения: 30.10..2018).
4. Брылина О.Г., Гельман М.В. Исследование трехфазного активного выпрямителя напряжения / Электротехнические системы и комплексы. - Магнитогорск: МГТУ №1 (22) 2014. С. 47-50.
5. Казачковский Н. Н. Управление активным выпрямителем с релейно-векторным контуром тока для систем частотно-регулируемого электропривода / Н.Н. Казачковский., Д.В. Якупов // Вісник Приазовського державного технічного університету: Зб. наук. пр. – Вип. 18. – Ч. 2. – Маріуполь, 2008. – С. 40 – 43.
6. Якупов Д.В., Казачковский Н.Н. Управление активным выпрямителем с широтно-импульсной модуляцией при возмущениях со стороны нагрузки./ Вісник КДУ імені Михайла Остроградського. Випуск 4/ 2010 (63) Частина 1. С. 16 - 20.

УДК 629.12:621.359.7

*Шевченко В. В., к.т.н., професор, Бондар І. Ю., Бугранов В. П.*

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

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ КОЛИВАЛЬНОГО ВІТРОГЕНЕРАТОРА МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ НА МОРСЬКИХ СУДАХ

**Вступ.** Існує велика кількість вітроустановок різного конструктивного виконання, що відрізняються розташуванням осі обертання лопат (горизонтальна, вертикальна, нахилена), кількістю й формою лопат (одна, дві, три і більше), потужністю (від десятків до декількох МВт), конструкцією електрогенераторів і т.д. і т.п. [1]. Конструкції таких вітроустановок не відповідають вимогам Регістру.

**Метою дослідження** є – вибір та впровадження вітрогенератору коливального типу малої потужності як аварійного джерела електроенергії на морських судах

На основі виконаних досліджень для морських суден, найбільш прийнятна конструкція вітрогенератора коливального типу, рис. 1.

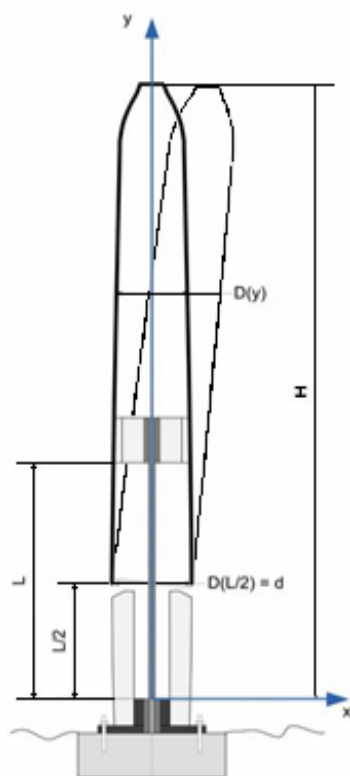


Рис.1. Вітрогенератор  
коливального типу

**Основна частина.** На основі виконаних досліджень альтернативних джерел енергії для впровадження на морських судах найбільш прийнятна конструкція вітрогенератора коливального типу [2]. Ефективність перетворення кінетичної енергії вітру в механічну енергію повинна бути якомога ближче до межі Беца [3]. У зв'язку з цим щогла вітрогенератора є жорсткою частиною структури, яка безпосередньо взаємодіє з вітром. Як показано нижче, ми можемо досягти синхронізованого вихорутворення уздовж всієї щогли, шляхом зміни діаметра в залежності від висоти. Таким чином, перпендикулярні сили до напрямку руху вітру працюють в фазі разом, досягаючи більшої продуктивності, ніж якби вони цього не робили.

Характеристична довжина циліндричних структур, бере значення з діаметру структури. Цей підхід добре працює для діаметра статичної структури, але зі структурами, коливаннями яких не можна знехтувати, більше підходить такий варіант

$$\Phi = D + a \cdot X, \quad (1)$$

де характеристична довжина  $\Phi$  це сума діаметра щогли і амплітуди її коливань  $X$ , помноженої на коригувальний коефіцієнт, що залежить від числа Рейнольдса. Правильне корегування цього коефіцієнта дозволяє впорядкувати вихревий потік.

Припустимо що гнучкий стрижень довільної довжини  $L$  (рис. 1) з'єднує верхню частину щогли і палубу судна. Приймаючи щоглу як тверде тіло, здатне осцилювати малі кути, можемо припустити, що амплітуда коливань  $X$  на висоті  $y=L/2$  дорівнює нулю [4]. В цьому положенні характеристична довжина відповідно до рівняння (2) відповідає діаметру щогли  $\Phi=D(L/2)=d$  і частота вихорутворення  $f$  при швидкості вітру  $v_\infty(L/2)$  дорівнює

$$f = \frac{S_t \cdot v_\infty \left( \frac{L}{2} \right)}{d}. \quad (2)$$

Для того щоб отримати бажаний резонанс ця частота повинна збігатися з нормальною частотою коливань усієї структури.

Як видно вище, частота вихорутворення пропорційна швидкості вітру, яка не є постійною. З іншого боку, діапазон швидкостей вітру в якому структура резонує (робочий діапазон) [5] вузький, через те що у структури одна нормальна частота коливань. Щоб збільшити кількість еквівалентних робочих годин на рік, ми повинні збільшити діапазон корисних швидкостей вітру.

Маса щогли підтримується стрижнем певної жорсткості і система згасає від генератора змінного струму та інших втрат потужності. Вся ця система буде резонувати, якщо коливальна сила, викликана вітром, має наступну частоту згідно з моделлю рис. 2

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m} - \left( \frac{c}{2m} \right)^2}. \quad (3)$$

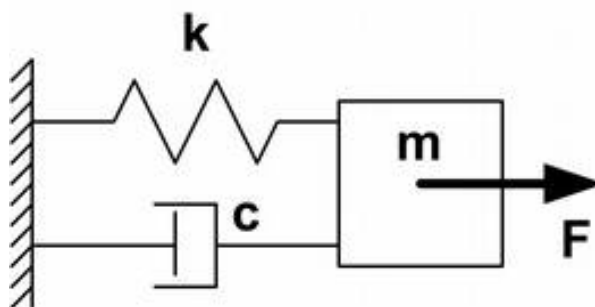


Рис. 2. Діаграма затухаючого гармонічного осцилятора.

## Висновки

1. Впровадження вітрогенератора коливального типу дозволяє уникнути механічних валів, які присущі вітрогенераторам с горизонтальною або вертикальною віссю обертання.
2. Рекомендуються для вітрогенератора коливального типу використовувати матеріали з сильним електромеханічним зв'язком.
3. Коливальний вітрогенератор можна розглядати як аварійне джерело електроенергії малої потужності на морських судах.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006 - 280с.

2. Городов Р.В., Губин В.Е., Матвеев В.Е. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. –Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009-294с.

3. A. Betz. "Das Maximum der theoretisch moglichen Ausnutzung des Windes durch Windmotoren" Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen, 1920, pages 307–309.

4. D. J. Yáñez "An electrical power generator and an electrical generator method", Patent WPCT/EP2015/072802, 2015.

5. R. Bourguet, G. E. Karniadakis, M. S. Triantafyllou. "Lock-in of the vortex-induced vibrations of a long tensioned beam in shear flow", Journal of Fluids and Structures, 2011, vol. 27, pages. 838-847.

## УДК 621.3

Аврам Є. М., к.т.н. доцент Жук О.К.

Національний Університет Кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

## РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНИМ ГІБРИДНИМ ФІЛЬТРОКОМПЕНСУЮЧИМ ПРИСТРОЄМ

Розглянуто особливості статичних і динамічних режимів удосконаленого гібридного керованого фільтрокомпенсуючого пристрою (КФКП) у складі автономної електроенергетичної системи (ЕЕС) з потужними НП. Визначено умови повної компенсації реактивної потужності навантаження та запропоновані принципи побудови структури відповідної системи автоматичного регулювання (САР) КФКП. Створено та досліджено MATLAB-модель системи з метою оптимізації параметрів регуляторів для досягнення заданої якості перехідних процесів і забезпечення умов електромагнітної сумісності.

**Вступ.** Розробка удосконалених керованих фільтрокомпенсуючих пристроїв (КФКП) є вельми актуальною задачею, насамперед, стосовно автономних електроенергетичних систем (ЕЕС) морських суден, стаціонарних морських платформ та плавучих бурових установок, які містять тиристорні перетворювачі частоти за схемою «керований випрямляч – інвертор струму, ведений навантаженням». Таким кінцевим навантаженням є гребні синхронні двигуни, потужність яких може досягати десятків МВт.

Забезпечення енергоефективності і якості електроенергії в автономних ЕЕС з НП пов'язано з керованою компенсацією неактивних складових повної потужності – реактивної потужності (РП) та потужності спотворення (ПС). Вирішення такої подвійної задачі вимагає врахування того факту, що сучасні активні або гібридні КФКП самі є джерелами вищих гармонік.

**Метою даної роботи** є визначення умов повної компенсації РП в автономній автоматичного регулювання (САР) та оптимізація регулятора з метою досягнення заданої (або необхідної) якості перехідних процесів в динамічних режимах і забезпечення умов електромагнітної сумісності.

Запропонована нова удосконалена структура гібридного КФКП, складеного з резонансного LC-фільтра (РФ) і реакторного компенсатора (РК), який містить реактор з опором та протифазні напівпровідникові ключі і з широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) (рис. 1).

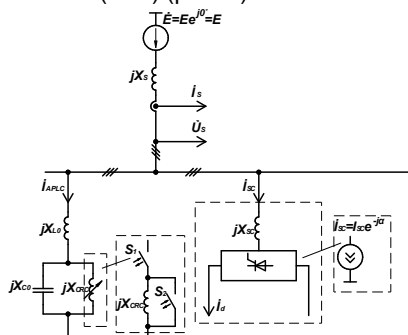


Рис. 1. Структура автономної ЕЕС з НП та КФКП. Узагальнена еквівалентна схема

Структурна схема САР КФКП. Схема працює за принципом компенсації та містить датчики випрямленого струму і кута керування НП. На виході блоку ШІР формуються імпульси зі змінною шпаруватістю для керування напівпровідниковими ключами комутатора РК. При наявності декількох навантажень структура рис. 2 ускладнюється за рахунок збільшення кількості відповідних датчиків та каналів керування.

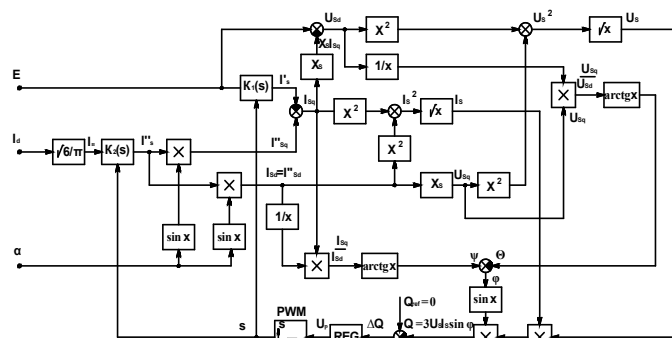


Рис. 2. Блок-схема САР КФКП

Для дослідження системи СГ-НП-КФКП, яка є суто нелінійною і імпульсною, використовується комп'ютерна модель MATLAB-Simulink.

Основна задача моделювання – дослідження РП і напруги СГ у перехідних процесах при стрибкоподібній зміні кута керування або струму навантаження НП та оптимізація параметрів регулятора для досягнення заданої якості зазначених процесів.

Перехідні процеси в автономній ЕЕС з НП і КФКП з оптимізованим ПІ- регулятором при накиді та скиданні навантаження. На рис. 3 показані одержані осцилограми перехідних процесів в системі з оптимізованим ПІ- регулятором при стрибкоподібній зміні струму із визначенням провалів і сплесків напруги мережі, реактивної потужності та часу перехідних процесів.

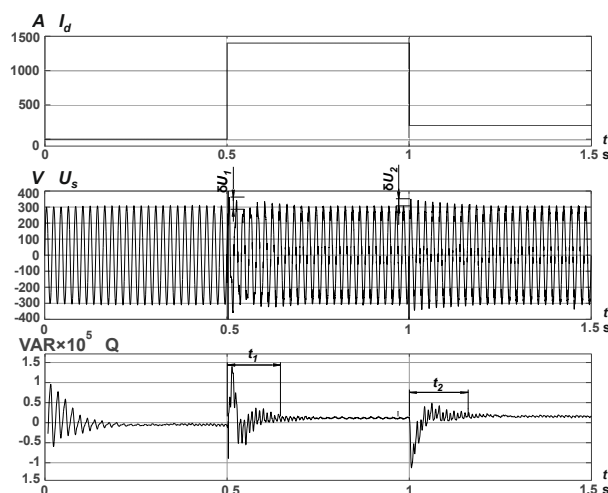


Рис. 3. Перехідні процеси в автономній ЕЕС з НП і КФКП з оптимізованим ПІ- регулятором при накиді та скиданні навантаження

Результати досліджень динамічних процесів з оптимізованими регуляторами зведені до табл. 1 і 2. В табл. 1 приведені максимальні провали (сплески) напруги при двох режимах регулювання – сталості кута управління ( $t_1 \Rightarrow I_d = 0 \rightarrow 1400 \text{ A}$ ,  $t_2 \Rightarrow I_d = 1400 \rightarrow 200 \text{ A}$ ) і сталості струму навантаження ( $t_1 \Rightarrow \alpha = 10^\circ \rightarrow 90^\circ$ ,  $t_2 \Rightarrow \alpha = 90^\circ \rightarrow 30^\circ$ ). В табл. 2 показаний час перехідного процесу компенсації РП при аналогічних збуреннях в системі з ПІ та ПІД-регуляторами.

Таблиця 1 – Максимальні сплески (провали) напруги

| $\alpha$              | $I_d$                   | $\delta U$ , % (PI) | $\delta U$ , % (PID) |
|-----------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|
| 30°                   | 0 $\rightarrow$ 1400A   | 8,1                 | 12,8                 |
|                       | 1400 $\rightarrow$ 200A | 12,9                | 17,6                 |
| 60°                   | 0 $\rightarrow$ 1400A   | 4                   | 4,8                  |
|                       | 1400 $\rightarrow$ 200A | 12,8                | 4,5                  |
| 10° $\rightarrow$ 90° | 1400 A                  | 8,1                 | 12,8                 |
| 90° $\rightarrow$ 30° |                         | 12,9                | 12,8                 |
| 10° $\rightarrow$ 90° | 500 A                   | 12,8                | 3,2                  |
| 90° $\rightarrow$ 30° |                         | 12,8                | 3,2                  |

Таблиця 2 – Час перехідного процесу компенсації реактивної потужності

| $\alpha$  | $I_d$        | $t$ , sec (PI) | $t$ , sec (PID) |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|
| 30°       | 0 → 1400 A   | 0,06           | 0,12            |
|           | 1400 → 200 A | 0,06           | 0,12            |
| 60°       | 0 → 1400 A   | 0,16           | 0,12            |
|           | 1400 → 200 A | 0,16           | 0,12            |
| 10° → 90° | 1400 A       | 0,11           | 0,14            |
| 90° → 30° |              | 0,11           | 0,14            |
| 10° → 90° | 500 A        | 0,05           | 0,1             |
| 90° → 30° |              | 0,05           | 0,1             |

**Висновки.** Розглянуто особливості статичних і динамічних режимів удосконаленого гібридного керованого фільтрокомпенсуючого пристрою (КФКП) у складі автономної електроенергетичної системи (ЕЕС) з потужними НП, що дозволяє зробити наступні висновки:

Основною умовою повної компенсації РП в автономній ЕЕС з удосконаленим гібридним КФКП є збіг фаз векторів напруги та струму генератора, тобто, , що досягається при відповідній шпаруватості ШІР реакторного компенсатора КФКП.

2. Реалізація САР КФКП можлива при застосуванні датчиків випрямленого струму і кута керування НП (рис. 2), проте, така структура значно ускладнюється при збільшенні числа навантажень.

Оскільки трифазні системи напруг і струмів генератора містять вищі гармоніки та є несиметричними в динамічних режимах, у обчисленому сигналі реактивної потужності наявні високочастотні перешкоди, для заглушення яких використовується фільтр нижніх частот.

Автономна ЕЕС з НП та КФКП є суто нелінійною та імпульсною, тому оптимізація параметрів регуляторів з метою досягнення заданої якості перехідних процесів в динамічних режимах проводилась на основі MATLAB-моделі. Аналіз результатів модельних експериментів свідчать про більшу ефективність ПІ-регулятора порівняно з І та ПІД-регуляторами. Задані критерії якості перехідних процесів, зокрема, скорочення тривалості перехідних процесів до 0,15с, досягаються шляхом оптимізації параметрів регуляторів з використанням бібліотеки Simulink Design Optimization з блоком Check Step Response Characteristics

#### Список використаних джерел

1. Zhuk O., Zhuk D., Stepenko S. An improvement of compensators of complete power non-active components in autonomous electric power systems //2nd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), Kyiv, 2016, pp.1-5. Scopus.
2. Жук А.К., Жук Д.А., Криворучко Д.В., Степенко С.А. Управляемое фильтрокомпенсирующее устройство для автономной электроэнергетической системы с мощными преобразователями// Технічна електродинаміка. – 2016. – №4. – С. 32–34. Scopus.
3. Zhuk O., Zhuk D., Kryvoruchko D., D'yakonov O. Control of Improved Hybrid power Line Conditioner // 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO).Conference Proceedings, 2018, Kyiv, Ukraine. IEEE Catalog Number: CFP1805U-USB, pp. 605-610. Scopus.
4. Жук О.К., Жук Д.О., Криворучко Д.В. Несинусоїдальність напруги в автономній електроенергетичній системі з керованим фільтрокомпенсуючим пристроєм// Технічна електродинаміка. – 2018. – № . – С. . Scopus.
5. Жук А.К., Жук Д.А., Криворучко Д.В. Фильтрокомпенсирующее устройство с широтно-импульсным регулированием реакторного компенсатора// Електротехніка і електромеханіка. – 2016. – №4(2). – С. 59–66. Index Copernicus.



## СЕКЦІЯ 5. ІМПУЛЬСНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.319.4

Малюшевська А. П. \*, к.т.н., доцент; Петрієнко В. О. \*\*, студент

\*Інститут імпульсних процесів та технологій НАН України; м. Миколаїв,

\*\*Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв

### УНІФІКАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ІМПУЛЬСНИХ КОНДЕНСАТОРІВ

Застосування в конструкціях електротехнічних пристроїв уніфікованих конструктивних елементів дозволяє скоротити номенклатуру необхідних матеріалів, розширити кількість типоміналів та скоротити терміни виготовлення пристроїв.

Аналіз науково-технічної літератури [1, 2] показує, що в області проектування і промислового виробництва сучасних високовольтних імпульсних конденсаторів застосування ізоляційних корпусів, наприклад, призводить до збільшення питомої енергоємності за рахунок більш раціонального використання робочого об'єму конденсатора у порівнянні з конструкціями з металевими корпусами внаслідок відмови від використання корпусної ізоляції. Крім того, використання ізоляційних корпусів дає можливість відмовитися від необхідності застосування дорогих прохідних керамічних ізоляторів, що в свою чергу приводить до зниження собівартості конденсаторів. Виготовлення ізоляційних корпусів конденсаторів в порівнянні з виготовленням металевих корпусів також менш матеріаломістке та більш технологічне. Таким чином уніфікація високовольтних імпульсних конденсаторів є актуальною інженерно-технічною задачею.

Метою роботи була розробка пропозицій щодо вибору елементів конструкції високовольтних імпульсних конденсаторів, які піддаються уніфікації, і аналіз результатів впровадження таких пропозицій.

Використання в секціях конденсаторів діелектрика, що сформований з полімерних плівок, які характеризуються високою електричною міцністю, дозволяє експлуатувати пристрій при високих напруженостях електричного поля (до 200 МВ/м), тоді як паперово-плівковий діелектрик допускає експлуатацію пристрою при напруженості тільки до 100 МВ/м. Загальновідомо, що саме напруженість електричного поля в діелектрику секцій є одним з основних чинників, які впливають на старіння діелектрика та, природним чином, на надійність імпульсних конденсаторів. Пробні експерименти дозволили запропонувати для формування секцій конденсатора тришарові поліпропіленово - поліетилентерефталатні діелектричні системи, просочені нафтовим маслом, що має низький тангенс кута діелектричних втрат та високу газостійкість [3]. Дослідження короточасної і тривалої електричної міцності цих плівкових діелектричних систем на макетах секцій дозволяють обґрунтовано, в залежності від заданого ресурсу та режиму роботи конденсаторів, обрати конкретну конструкцію робочого діелектрика.

Як показали результати виконаних електричних розрахунків і аналіз технічних рішень, що були спрямовані на уніфікацію основних конструктивних елементів, при створенні високовольтних імпульсних конденсаторів на базі одного ізоляційного корпусу можуть бути застосовані такі уніфіковані конструктивні елементи: секція, вкладний струмовивід, щоки і хомути, струмопровідні шини, ізоляційні переліжки. Така уніфікація приводить до одноманітності способів виготовлення конденсаторів, використання однієї і тієї ж технологічної оснастки, скорочення часу на проектування. Секції мають однакове конструктивне виконання - пласкопресовані з прихованими обкладинами, з двома струмовиводами з однієї торцевої сторони. Незмінними для всіх типоміналів конденсаторів повинні бути внутрішні розміри корпусу. Забезпечення цієї вимоги можливо за рахунок розрахункового підбору товщини секцій шляхом зміни кількості робочих витків та варіюванням схем з'єднання секцій. З огляду на можливість різних варіантів електричного з'єднання секцій між собою передбачаються також два варіанти конструктивного розташування струмовиводів.

#### Список використаних джерел

Рудаков, В.В. Стан та тенденції розвитку високовольтних імпульсних конденсаторів [Текст] / В.В. Рудаков // Вісник НТУ «ХПІ». – 2009. – №39. – С. 146-154.

Ермилов, И.В. Высоковольтные импульсные конденсаторы с полимерной изоляцией [Текст] / И.В. Ермилов // Электричество. – 2006. – № 9. – С. 73-79.

Гулько, В.И. Разработка высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком [Текст] / В.И. Гулько, А.Я. Дмитришин, Л.И. Онищенко, С.О. Топоров, И.А. Перекупка // Вісник НТУ «ХПІ». – 2012. – №52. – С. 65-71.

## УДК 621.319.4

Малюшевська А. П. \*, к.т.н., доцент; Рибалка О. В.\*\*, студент

\*Інститут імпульсних процесів та технологій НАН України; м. Миколаїв,

\*\*Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв

## ВИКОРИСТАННЯ ПЛІВКОВИХ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ В ВИСОКОВОЛЬТНИХ ІМПУЛЬСНИХ КОНДЕНСАТОРАХ

Розвиток енергетики, автоматизація виробництва, розширення областей застосування електричної енергії ставить перед розробниками електричної ізоляції завдання підвищення її надійності ще на стадії проектування. Конденсаторобудування є найважливішою областю електротехніки, яка задовольняє зростаючі потреби енергетичного комплексу. Розвиток конденсаторобудування пред'являє все більш високі вимоги до надійності і довговічності ізоляції, оскільки часто вона експлуатується в досить жорстких умовах, наприклад, в імпульсних конденсаторах електронакопичувальних установок, де при обмеженому ресурсі робоча напруженість електричного поля в діелектрику сягає 100 - 200 МВ/м. Напруженість електричного поля в ізоляції є основним чинником, що визначає матеріаломісткість виготовлення, обмежує питомі характеристики і надійність (зокрема ресурс) конденсатора [1]. Для силових, в тому числі високовольтних імпульсних конденсаторів (ВІК) асортимент застосовуваних при конструюванні ізоляції електротехнічних матеріалів досить вузький. Це можуть бути спеціальний конденсаторний папір і тонкі (10 - 20 мкм) синтетичні полімерні плівки, а також рідкі електроізоляційні матеріали, що заповнюють пори і просвіти між шарами ізоляції. Але сучасне електротехнічне матеріалознавство розвивається швидкими темпами і пропонує нові матеріали зі значно кращими ізоляційними властивостями.

Метою роботи було вивчення властивостей полімерних плівок електротехнічного призначення, електроізоляційних рідин для просочування діелектрика високовольтних імпульсних конденсаторів та розробка інженерно-технічних рішень щодо використання цих матеріалів в діелектричних системах ВІК.

Сучасне конденсаторобудування націлене на створення високовольтних імпульсних конденсаторів з поліпшеними питомими енергетичними характеристиками і ресурсом. Одним з перспективних напрямків для досягнення цих цілей є застосування в якості робочого діелектрика секцій ВІК комбінованих діелектричних систем на основі полімерних плівок, що просочені низьков'язкими діелектричними рідинами з високою газостійкістю і стійкістю до часткових розрядів з низьким тангенсом кута втрат [2, 3]. Результати досліджень по визначенню електрофізичних характеристик таких діелектричних систем, сумісності застосовуваних матеріалів, їх короткочасної та тривалої електричної міцності дозволяють стверджувати, що застосування плівкових діелектричних систем дозволяє підвищити, в порівнянні з традиційно застосовуваним паперово-плівковим діелектриком, питому енергію, що запасається, в 1,3 - 2 рази при збереженні ресурсу конденсатора. Якщо ж віддавати пріоритет вирішенню завдання щодо підвищення ресурсу конденсатора, то застосування плівкового комбінованого просоченого діелектрика замість паперово-плівкового дозволяє підвищити цей показник в 25 - 40 разів, зберігаючи величину питомої енергії, що запасається такою ж, як в конденсаторах з паперово-плівковою ізоляцією між обкладами.

Подальше підвищення питомої енергії, що запасається в високовольтних імпульсних конденсаторах з плівковим діелектриком можливо за рахунок застосування в конструкції секції конденсатора металізованих обкладок, що являють собою напилені на діелектрик тонкі (товщиною від 15 до 20 нм) металеві шари алюмінію або цинку. Пілотні дослідження електрофізичних характеристик і параметрів високовольтних імпульсних конденсаторів з металізованими обкладами показали, що їх застосування замість фольгових дозволяє підвищити питому енергоємність пристроїв в середньому на 40%. Особливої важливості при цьому набуває питання граничної струменосучої здатності металізованої обкладини, тому що з одного боку її товщина не повинна перешкоджати виникненню ефекту самовідновлення, а з іншого боку обкладинка повинна забезпечувати проходження великих імпульсних струмів без руйнування в результаті джоулевого нагріву [4].

Проте, застосування плівкових діелектричних систем в високовольтних імпульсних конденсаторах з фольговими обкладками є значущим кроком на шляху поліпшення питомих енергетичних характеристик таких пристроїв.

### Список використаних джерел

Малюшевська, А.П. Довготривала електрична міцність полімерних плівок під дією електричного поля [Текст] / А.П.Малюшевська, С.О. Топоров, В.І. Гунько //Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - №1. - С. 12 - 17.

Гребенников, И.Ю. О повышении удельных энергетических характеристик и ресурса высоковольтных импульсных конденсаторов [Текст] / Гребенников И.Ю., Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Онищенко Л.И., Швец И.С. // Электронная обработка материалов. – 2004. – №5. – С. 70-73.

Рудаков, В.В. Стан та тенденції розвитку високовольтних імпульсних конденсаторів [Текст] / Рудаков В.В. // Вісник НТУ „ХПІ”: зб. наук. пр.: Тем. вип.: Техніка і електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2009. – № 39. – С. 146-154.

Бондаренко, П.Н. Экспериментальное изучение токового разрушения металлизированных полимерных плёнок [Текст] / Бондаренко П.Н., Емельянов О.А. // Письма в ЖТФ. – 2005. – Т. 31, вып. 14. – С. 67-71.

УДК 546.261: 621.3.015.51

Харченко В. В.

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

## ПОЛУЧЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ КАРБИДОВ МЕТАЛЛОВ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОВЗРЫВА

Карбиды тугоплавких металлов широко применяют в науке и технике. Их использование представляет интерес для производства режущего инструмента, деталей конструкций, работающих в условиях высоких температур, модифицирования литейных сплавов. При использовании нанопорошков карбидов в качестве модификаторов достигается существенное улучшение характеристик различных функциональных материалов.

Показана применимость метода электрического взрыва проводников в газообразных и жидких углеводородах для синтеза карбидов металлов [1]. Однако электрический взрыв проводников в углеводородах приводит к образованию продуктов, в составе которых сохраняются остаточные металлы, а карбиды имеют дефицит по углероду.

Цель работы - поиск эффективных режимов электровзрыва и углеродсодержащей среды для увеличения выхода нанокарбидов.

Для выбора режима электровзрыва, при котором происходит эффективный синтез нанокарбидов, использована математическая модель электровзрыва цилиндрического проводника, включающая уравнение для тока в цепи. В результате джоулева нагрева проводника происходит рост сопротивления, обусловленный тепловым расширением, а также плавлением и испарением проводника.

Теоретически получены приближенные временные зависимости тока, сопротивления, введенной мощности, давления и температуры в процессе электровзрыва. Резкое падение давления во внешнем слое проводника связано с быстрым расширением внешнего испарившегося слоя проводника, однако внутренняя сердцевина проводника остаётся в жидком состоянии и процесс взрыва проводника представляет собой разлёт как пара, так и жидких капель вольфрама. Карбонизация микрокапель приводит к образованию микрочастиц карбида. Поэтому для получения наноразмерных частиц вольфрама необходимо увеличить удельную запасаемую энергию и создать условия для реализации повторного пробоя, в процессе которого произойдёт испарение микрокапель.

В качестве источника углерода использованы пастообразные углеродные наноматериалы, синтезированные в процессе электроразрядной обработки циклогексана. Вольфрамовые проводники помещали в цилиндрические оболочки, заполненные пастой. Варьировали толщину слоя пасты. Электровзрыв проводили в воздухе в разрядной камере.

Осциллографирование тока и напряжения позволило рассчитать введенные в процессе электровзрыва энергии и определить отношения введенной энергии к энергии сублимации проводника  $W_e/W_c$ .

Сравнение теоретических и экспериментальных зависимостей тока, напряжения и мощности показало, что полученные аналитические зависимости могут быть использованы для количественного описания режимов электровзрыва.

**Выводы.** Согласно данным рентгенофазового анализа, продукты электрического взрыва вольфрамовых проводников в пасте (режим с повторным пробоем без паузы тока) содержат карбиды вольфрама WC и W<sub>2</sub>C.

Показано, что эффективным для синтеза карбидов вольфрама является режим электровзрыва, при котором введенная энергия превышает энергию сублимации проводника в 3,6 раза.

### Список использованных источников

1. Назаренко О.Б. Влияние условий синтеза на свойства электровзрывных нанопорошков карбидов металлов [Текст] / О.Б. Назаренко // Известия Томского политехнического университета, - 2003. - Т. 306, №6. – с. 62-66.

2 Kuskova, N.I. Electrodischarge Technology and Equipment to Produce New Carbon Nanomaterials /

N.I. Kuskova, K.V.Dubovenko, S.V. Petrichenko, P.L. Tsolin, and S.O. Chaban // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. - 2013. - V.49, No 3. – P. 35-42.

УДК 621.74.02:669.714.2+669.714.1

Брагін Д. С., Юрочко Д. І.

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

## ТРИФАЗНИЙ НИЗЬКОВОЛЬТНИЙ ГЕНЕРАТОР ІМПУЛЬСНИХ СТРУМІВ ДЛЯ ОБРОБКИ РОЗПЛАВУ

Проблеми підвищення якості ливарних сплавів у технології ливарного виробництва вирішується за рахунок додаткової обробки розплаву різними методами як у печі, так і за пічним агрегатом. Для цього використовують так звані хімічні методи, коли в розплав додають малі дози хімічних елементів (<1%), які приводять до модифікування структури та підвищення властивостей. Або обробляють розплав фізичними полями різної природи (електромагнітними, акустичними, тепловими). Ці методи називають енергетичними. До їх числа відноситься обробка розплаву пропусканням електричного струму. Вказаний метод активно розвивається в Інституті імпульсних процесів і технологій НАН України у науковому відділі імпульсної обробки металевих матеріалів. Важливу роль при цьому відіграє джерело струму, яке будується з такими параметрами, що дозволяють отримувати потрібний результат, при цьому джерела струму відповідають ознакам як високовольтних показників, так і низьковольтних. Різниця при застосуванні цих джерел струму для обробки розплаву визначається тільки величинами споживаної потужності та часом обробки. Але низьковольтні джерела є більш компактними та економічними.

В даній роботі розроблено та застосовано низьковольтний генератор імпульсних струмів. В основу його архітектури покладено принцип безпосереднього заряджання конденсатора випрямленою трифазною напругою за допомогою пасивних струмообмежуючих елементів (зарядних опорів). Такий принцип дозволяє стабільно підтримувати величину сили струму в розрядних імпульсах при різній частоті їх дотримання.

Для вивчення впливу низьковольтних імпульсів струму на структуру металу при однаковій енергії в імпульсі був розроблений трифазний генератор. Його схема представлена на рис. 1.

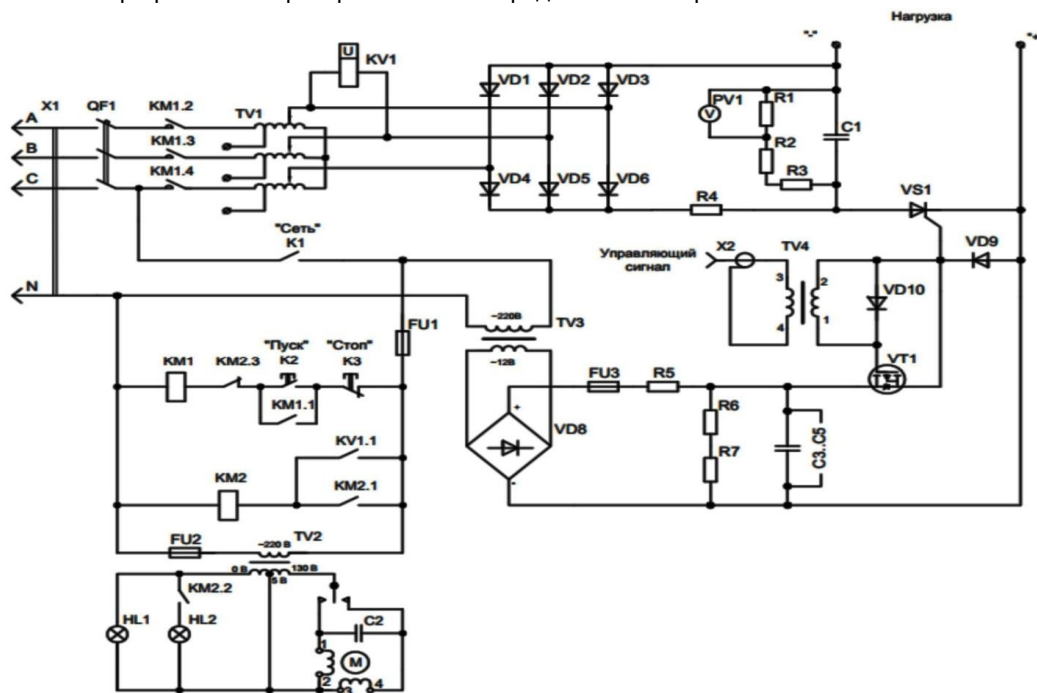


Рис.1

Генератор може працювати в режимі формування біполярного імпульсу, який є синусоїдою, що затухає, з амплітудою  $I_{\text{мах}}$ , періодом коливальності  $T=30$  мкс.

Технічні дані генератора :

1) Параметри живлячої мережі :

- напруга мережі 380 В;

- частота мережі 50 Гц;

2) Максимальна споживана потужність  $S=7,5$  кВА;

3) Номінальна потужність  $P=6,8$  кВт;

4) Робоча напруга  $U=515$  В.

Гарантовані режими роботи джерела імпульсів струму на різних частотах приведені в табл. 1.

Табл.1

| Частота дотримання імпульсів<br>$f$ , Гц | Амплітуда струму<br>$I_{max}$ , А | Енергія в імпульсі<br>$W$ , Дж |
|------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| От 1 до 3200                             | До 800                            | 1,7                            |

Величина пульсації амплітуди струму: не більше 6 %. З застосуванням вказаного джерела струму було проведено пробну обробку сплаву АК7.

В табл. 2. представлені параметри обробки розплаву, результати якої аналізувалися.

Табл.2

| Номер зразка       | Частота дотримання імпульсів, Гц | Сила струму, А | Час обробки, хвилини |
|--------------------|----------------------------------|----------------|----------------------|
| 2.1<br>контрольний | -                                | -              | -                    |
| 2.23               | 1200                             | 800            | 2                    |
| 2.26               | 3200                             | 800            | 2                    |
| 2.28               | 40                               | 800            | 2                    |

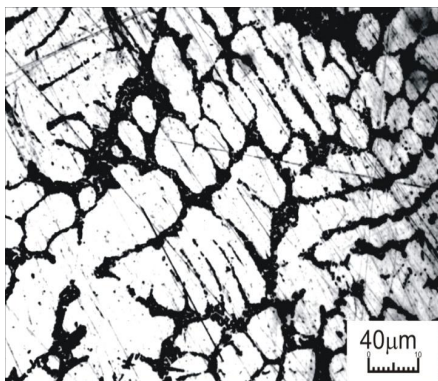
Вважатимемо, що зовнішні чинники виплавки і розливання постійні. Температури виплавки і розливання  $T_{пл}=760^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{залівки}=705^{\circ}\text{C}$ , температура форми для заливання розплаву дорівнювала температурі навколишнього середовища. Таким чином вплив цих чинників на структуру і властивості не розглядаються в цій роботі. Далі розглянемо результати обробки з використанням ТНВ ГІС (див.табл. 1.3, рис. 1.2)

Як бачимо, збільшення частоти не призводить до значимих змін в структурі, хоча при збільшенні з 1200 Гц до 3200 Гц об'єм пор зменшується на 35 %. Мікрозерно трохи подрібнюється, розмір часток кремнію в евтектиці також не змінюється (див. табл. 1.3). Так, зерно зменшується на 20 % а розмір часток кремнію в евтектиці на 40 % (в порівнянні з № 2.23). Зміна об'єму евтектики також не-значно і неоднозначно в прив'язці до режимів. На рис. 2. наведено мікроструктури зразків – свідків, які аналізувалися.

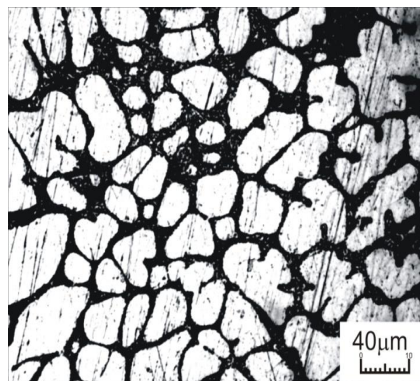
Табл.3

| Номер зразка      | Параметри макроструктури |                |                     | Параметри мікроструктури  |                                                          |                                        |
|-------------------|--------------------------|----------------|---------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|                   | Розмір зерна, мм         | Розмір пор, мм | Об'єм пористості, % | Розмір дендр. ячейки, мкм | Розмір частиць Si в евтектиці $\alpha + \text{Si}$ , мкм | Об'єм евтектики $\alpha + \text{Si}$ % |
| 2.23<br>(1200 Гц) | 3.5                      | 0.67           | 18.6                | 34                        | 4                                                        | 32                                     |
| 2.26<br>(40 Гц)   | 3.3                      | 0.67           | 13.8                | 28                        | 3.6                                                      | 38.5                                   |
| 2.28<br>(3200 Гц) | 3.3                      | 0.67           | 13.8                | 30                        | 3.6                                                      | 38.5                                   |
| 2.1 (к)           | 5.7                      | 0.76           | 20                  | 40                        | 7                                                        | 34                                     |

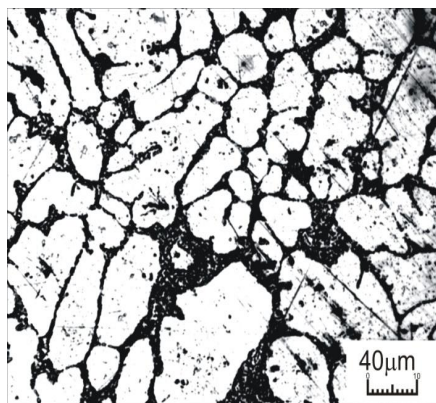




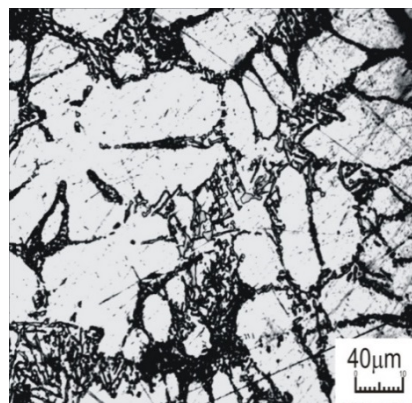
№ 2.23



№ 2.26



№ 2.28



№ 2.1

Рис.2

Тобто, при обробці джерелами струму при частоті чергування імпульсів 40 Гц та 1200 Гц при величині сили струму 800 А параметри макроструктури приблизно постійні, а ось на мікрорівні збільшення частоти дотримання імпульсів показало незначне поліпшення структури.

Таким чином експериментальні данні свідчать про те, що застосування низьковольтного трифазного джерела імпульсного струму здатне поліпшувати структуру литого металу вже на частоті 40 Гц, тобто при меншому значенні енерговитрат.

**Висновок.** Розглянутий спосіб імпульсної обробки є перспективним, тому що дає змогу ефективно енергетично модифікувати оброблений метал, одержувати дрібну та рівномірну в об'ємі структуру оброблених виливків, підвищити завдяки цьому їх механічні та експлуатаційні властивості.

УДК 621.317.3:537.528

Юрочко Д. І., Брагін Д. С.

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

## МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ЕЛЕКТРИЧНИХ РОЗРЯДАХ

Мета роботи: за результатами аналізу відомих даних щодо вимірювань електричних характеристик імпульсного високовольтного розряду [1-6] визначити їх загальні методичні особливості та виконати тестове вимірювання.



При вимірі імпульсних струмів та напруг необхідно реєструвати їхню форму та визначати амплітуду як функцію часу. Це проводиться тільки за допомогою осцилографів, на вхід яких подається сигнал, пропорційний струму, або напрузі, які вимірюються. При вимірюванні струму сигнал надходить від спеціальних датчиків, індуктивно або безпосередньо зв'язаних з контуром вимірюваного струму. У першому випадку датчиками є повітряні трансформатори струму (пояси Роговського), у другому - активні опори, що називаються шунти.

Імпульсні напруги вимірюються за допомогою трьох типів подільників напруги (ПН) омичного, ємнісного, змішаного.

ПН повинний задовольняти наступній основній вимозі: напруга на низьковольтному плечі ПН повинна за формою в точності повторювати вимірювану напругу. Це значить, що коефіцієнт ділення ПН не повинен залежати від частоти і рівня вимірюваної напруги, на нього не повинні впливати ні зовнішні електростатичні й електромагнітні поля, ні корона, ні витоки ізоляції і т. і.

Але яким би не був пристрій для вимірювання електричних характеристик, до нього повинні пред'являтися наступні основні вимоги: забезпечувати відтворення первинного сигналу у вторинному вимірювальному колі як за формою, так і за значенням, з погрішністю, що не перевищує задану; бути захищеним від перешкод; видавати стабільні показники.

Сучасні осцилографи дозволяють з достатнім ступенем точності відтворювати амплітудно-часову характеристику сигналу, що подається на його вхід. Але при цьому, завжди виникає проблема боротьби з паразитними сигналами, які генерують перешкоди у сигналі, який вимірюють. При проведенні вимірів імпульсних струмів і напруги в установках з ємнісними накопичувачами енергії можна виділити чотири основні причини появи скривлень досліджуваного сигналу на екрані осцилографа.

1. Електромагнітне поле при електровибусі проникає через корпус осцилографа і викликає безпосереднє скривлення уздовж вертикалі. Як захист, у цьому випадку, можна помістити прилад в екранований ящик.

2. Квазістаціонарні магнітні й електричні поля проникають у не цілком екрановані вимірювальні кола. Щоб уникнути перешкод з цієї причини можна при ретельному екрануванні кабелів, використовуючи подвійне обплетення або трубу, та використовуючи при цьому, за змогою, коаксіальний кабель без ексцентриситету.

3. Осцилограф сприймає перешкоди ( $\leq 30$  МГц) по проводах живлення. Практика показує, що використання в цьому випадку розділювального трансформатора, системи фільтрів, намотування вимірювального кабелю на феритове кільце, уміщення його в гнучку металеву панчоху, що має гнучкий електричний контакт із корпусом екрана і корпусом осцилографа, практично цілком дозволяють позбутися від цього роду перешкод.

4. Паразитні струми у заземлюючих кабелях.

Для визначення величини омичного опору  $R(t)$ , потужності  $N(t)$  та енергії  $W(t)$ , які також описують електричні характеристики розряду, використовують наступні формули  $R(t) = \frac{U(t)}{I(t)}$ ,  $N(t) = I(t) \cdot U(t)$ ,  $W(t) = \int_0^t N(t)dt$ , де  $\tau$  - час візуалізації процесу.

Враховуючи те, що опір каналу електричного розряду складається з омичного, індуктивного та ємнісного, на осцилограмах залежності  $I(t)$  та  $U(t)$  при вимірюванні не будуть співпадати значення  $I(t)=0$  та  $U(t)=0$  в один і той же час по вісі абсцис. Для ліквідації такої методичної похибки треба використовувати процедуру компенсації індуктивної складової напруги. Вклад ємнісної складової незначний.

Для цього існує два принципи: фізичний та математичний. У першому випадку, у вимірювальне коло напруги додають котушку, електромагнітне поле якої у протилежній фазі нівелює індуктивну складову напруги, за умов підбору мінімальної кількості витків.

У другому випадку за основу приймають рівняння:

$$u = ir + L_M \frac{di}{dt}, \quad (1)$$

де  $u$  – миттєве значення падіння напруги на міжелектродному проміжку, В;  $i$  – миттєве значення розрядного струму, А;  $r$  – миттєве значення активного опору розплавленого металу, Ом;  $L_M$  – індуктивність ділянки кола, Гн.

Для визначення активної складової падіння напруги необхідно компенсувати член  $L_M \frac{di}{dt}$ , амплітуда якого пропорційна швидкості зміни струму в розрядному колі. Компенсація  $L_M \frac{di}{dt}$  відбувається шляхом сумування цього члену з величиною  $\alpha \frac{di}{dt}$ . Таким чином, отримуємо вираз

$$u = ir + L_M \frac{di}{dt} + \alpha \frac{di}{dt}. \quad (2)$$

Величина  $\alpha$  підбирається так, щоб сума  $(L_M + \alpha)$  перетворилась в нуль.

Результати обробки осцилограм розряду в режимі короткого замикання наведені на рис. 1

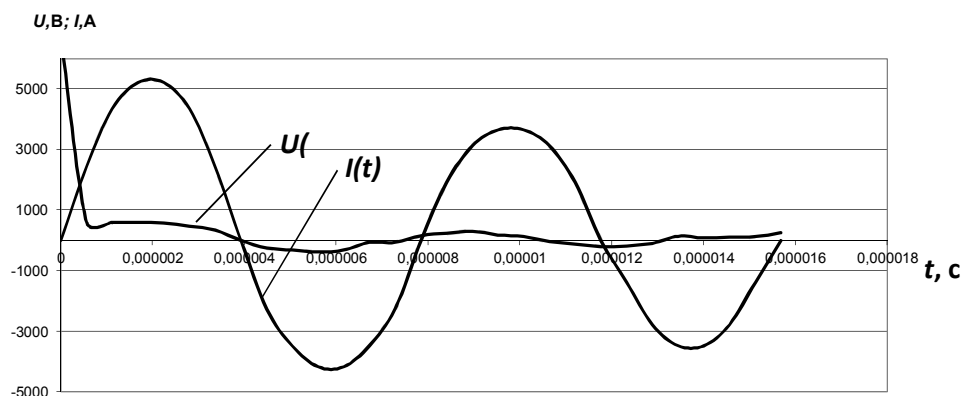


Рис.1

Це дає нам можливість чисто теоретично проводити аналіз амплітудно-тимчасових електричних і енергетичних характеристик розряду на рідкий або метал, що кристалізується в RLC-колі.

Оскільки при компенсації індуктивної складової напруги безпосередньо при вимірах (фізична компенсація), в вимірювальний тракт вводяться додаткові «компенсуючі» елементи, параметри яких доводиться підбирати в залежності від режиму розряду і характеристик розрядної ланцюга, що важко в експерименті з великою кількістю варійованих величин.

За допомогою залежності  $I(t)$ , яку отримують в режимі короткого замикання, визначають величину індуктивності контуру за допомогою формули  $L = \frac{T^2}{4\pi C}$ , де  $T$  - період струму,  $C$  - ємність.

#### Список використаних джерел

1. Ашнер А.М. Получение и измерение импульсных высоких напряжений: Пер. с нем. - М.: Энергия, 1979. - 120 с
2. Бровченко В.Т., Молчанов Ю.Д., Строганов Ю.А. Измерение импульсных токов магнитными поясами // ПТЭ. - 1967. - № 3.
3. Кузнецов И.П. Испытательные установки и измерения на высоком напряжении. - М.: Энергия, 1980. - 136 с.
4. Окунов И.З. Измерение разрядных токов поясами Роговского // ПТЭ. - 1968. - № 6. - С. 120-126.
5. Румшиский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. Справочное руководство. - М.: Наука, 1971. - 192 с.
6. Шваб А. Измерения на высоком напряжении: Измерительные приборы и способы измерения. - 2-е изд., перераб. и дополн. Пер. с нем. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 264 с.

УДК 621.314: 621.373

Касьянов Є.О., студент

Науковий керівник – ст. викладач кафедри КТІБ Касьянов Ю.І.

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

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНИХ УСТАНОВОК В АВТОНОМНИХ ЕЛЕКТРОСИСТЕМАХ ТА ВИМОГИ ДО ЇХ ЗАРЯДНИХ ПРИСТРОЇВ

**Вступ.** Використання нових прогресивних електроімпульсних технологій для виконання різних робіт (геофізичної розвідки, дроблення гірських порід і льоду, видобування корисних копалин з морського дна та інших підводно-технічних робіт, очищення морепродуктів від піску та домішок тощо) усе частіше пов'язане зі створенням електроімпульсних установок (ЕІУ), що входять до складу автономних електросистем (АВЕС), у тому числі мобільних та судових [1-5].

Оскільки ефективність електроімпульсних установок в значній мірі визначається оптимальністю процесу заряду накопичувача енергії, то специфічні умови функціонування й експлуатації ЕІУ в АВЕС вимагають особливого підходу до проектування зарядних пристроїв генераторів імпульсних струмів (ЗП ГІС). При цьому з'являються спеціальні вимоги до ЗП ГІС, а значимість вимог по ряду показників стає на порядок вищою у порівнянні з установками, що живляться від промислової мережі й працюють в цехових умовах [6-8].

**Метою роботи** є аналіз особливостей роботи електроімпульсних установок в автономних електросистемах та визначення специфіки вимог до зарядних пристроїв генераторів імпульсних струмів таких установок.

### Основна частина.

Особливості роботи ЕІУ АВЕС визначаються польовими умовами експлуатації й умовами функціонування ЕІУ в складі АВЕС і, відповідно, можуть бути розділені на дві групи: експлуатаційні й функціональні (рис.1).



Рис. 1

З урахуванням цих особливостей при проектуванні зарядних пристроїв ємнісних накопичувачів енергії для ЕІУ, що працюють в АВЕС, можна сформулювати ряд специфічних вимог (критеріїв), виконання яких забезпечить їх високу ефективність (рис. 2).

Технологічні вимоги до ЗП є вихідними параметрами і формуються виходячи з призначення ЕІУ та параметрів технологічного процесу (частота або діапазон частот розрядів, енергія в імпульсі, напруга на накопичувачі, стабільність зарядно-розрядних циклів тощо), які жорстко визначені і повинні виконуватися обов'язково. Особливістю таких вимог для зарядних пристроїв ЕІУ АВЕС є зниження вихідної потужності, обумовлене живленням від джерела обмеженої потужності, і знижена (6...10 кВ) напруга зарядки ємнісного накопичувача енергії (СНЕ), що обумовлено міркуваннями безпеки і мінімізації масогабаритів. Обмеження потужності ЗП, при необхідності забезпечення значних енергій в імпульсі, у свою чергу приводить до зниження частоти імпульсів, аж до одиночних розрядів, а також до використання декількох генераторів імпульсних струмів (ГІС) із синхронізацією їх роботи для одночасного приходу ударних хвиль у робочу точку (тришокерів). Для забезпечення синхронної й синфазної роботи декількох ГІС потрібно забезпечити стабільність зарядно-розрядних циклів.

Виконання функціональних вимог значною мірою забезпечується схмотехнікою зарядного пристрою, зокрема оптимальним вибором його типу, схеми та елементної бази. Це пов'язано з проведенням схмотехнічного моделювання при проектуванні ЗП ГІС.

Для раціонального енергоспоживання необхідно забезпечити високий ККД та коефіцієнт потужності зарядного пристрою. Особливо важливим цей критерій є для мобільних ЕІУ, де енергоресурс джерела живлення обмежений.

Для мінімізації впливу роботи ЕІУ на автономну мережу живлення потрібно забезпечити максимальну рівномірність споживання потужності в процесі заряду ємнісного накопичувача енергії, максимально знизити можливість утворення вищих гармонік та субгармонік у споживаній напрузі і струмі.

Забезпечення стабільності вихідних (технологічних) параметрів і характеристик при низькій якості вхідної напруги (коливання амплітуди й частоти, порушення синусоїдної форми напруги живлення тощо). Це особливо важливо для мобільних установок і автономних електросистем, де ЕІУ є основним споживачем, при відсутності або мінімумі пристроїв автоматики електроенергетичної системи.

Вимога схмотехнічної простоти обумовлена обмеженням числом обслуговуючого персоналу та невисоким рівнем його кваліфікації, а також вимогою підвищеної надійності. Так як вимоги схмотехнічної простоти й раціонального енергоспоживання є пріоритетними для зарядних пристроїв практично всіх ЕІУ АВЕС, то доцільним є

використання резонансних зарядних пристроїв з некерованим процесом зарядки ємнісного накопичувача, які досить прості й мають високі енергетичні показники [9].



Рис. 2

Конструктивні й експлуатаційні вимоги до ЗУ в основному визначаються особливими умовами експлуатації ЕІУ АВЕС. Так, вимоги конструктивної й експлуатаційної простоти, підвищеної безпеки й надійності тісно зв'язані між собою й обумовлені обмеженням числом обслуговуючого персоналу й невисоким рівнем його кваліфікації, а також роботою в стиснутих умовах і складністю забезпечення безпеки в польових умовах. Ці вимоги задовольняються, в основному, за рахунок конструктивних рішень і пристроїв автоматичного захисту. З вимогою безпеки зв'язане також зниження напруги заряду ємнісного накопичувача.

З роботою в стиснутих умовах і з необхідністю переміщення в мобільних ЕІУ пов'язана вимога мінімізації масогабаритів. Слід зазначити, що зниження масогабаритов і простота, на відміну від промислових установок, не тільки дає економічну вигоду, але часто визначає можливість використання того або іншого типу ЗУ ПС у конкретній установці, а іноді й саму можливість використання ЕІУ в заданих умовах. Для мобільних ЕІУ одною з першорядних вимог є легкість транспортування.

Виконання розглянутих вище вимог, з урахуванням їх пріоритетності в конкретному випадку, у значній мірі визначається правильним вибором типу ЗП і раціональним режимом зарядки ємнісного накопичувача енергії, для чого використовуються результати теоретичних і експериментальних (у тому числі із застосуванням методів математичного моделювання) наукових досліджень. Результати досліджень доцільно мати у вигляді часових залежностей (осцилограмм) вхідних і вихідних струмів і напруг за цикл заряду, енергетичних часових характеристик, амплітудно-частотних і енергетичних частотних характеристик, спектральних характеристик споживаних струмів і напруг.

**Висновки.** Проведено аналіз особливостей роботи електроімпульсних установок в автономних електросистемах та визначення специфіки вимог до зарядних пристроїв генераторів імпульсних струмів таких установок, який показав, що при проектуванні зарядних пристроїв ЕІУ, що працюють в складі АВЕС, обов'язково необхідно враховувати такі фактори, як вплив функціонування ЕІУ якості електроенергії в автономній мережі живлення, вплив неякісної напруги живлення на стабільність зарядно-розрядних циклів, рівномірність споживання потужності з мережі.

#### Список використаних джерел

1. Бойко, Николай Научные основы создания электротехнологических установок / Николай Бойко. - М.: Palmarium Academic Publishing, 2015. - 580 с.
2. Тенденции развития мощных высоковольтных генераторов импульсных токов в ИИПТ НАН Украины / А.И. Вовченко, Л.З. Богуславский, Л.Н. Мирошніченко // Технічна електродинаміка. — 2010. — № 5. — С. 69-74.

3. Блинцов В.С. Электрогидроимпульсная технология изготовления гидрологических лунок / В.С. Блинцов, Ю.И. Касьянов // Проектирование средств освоения океана: Сб. научн. тр. - Николаев, НКИ, 1991 - с. 67-76.
4. Экспериментальные исследования при очистке филлофоры с помощью электрогидравлических разрядов / Ю.И.Касьянов, В.С.Блинцов, Г.Г.Горовенко, В.Г.Сысоев //Электрооборудование и автоматизация судовых установок и систем: Сб.науч.тр. – Николаев: УГМТУ, 1994. –С.89-93.
5. Підводно-технічний комплекс для руйнування ґрунтів високої міцності / Блінцов В.С., Касьянов Ю.І., Нужний С.М., Гертов С.П. // Фізика імпульсних разрядів в конденсованих середовищах: Тез.доп. XIII Міжнародної наукової школи-семінару.- Миколаїв: ІПТТ НАН України, 2007.
6. Мирошниченко Л.Н. Эволюция резонансных зарядных устройств ГИТ для электроразрядных технологий // Техн. електродинаміка. Тем. вип.: Силова електроніка та енергоефективність. Ч.І. - К.,2010. - С.135-140.
7. Касьянов Ю.И. Вопросы качества электроэнергии при работе судовой электрогидравлической установки / Ю.И. Касьянов - Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2005. – №4 (403). – с. 119 – 127.
8. Преобразователь тока энергией 120 кДж с четырехканальным выходом для мобильных электрогидроимпульсных установок / Л.З. Богуславский, Я.П.Струк, Л.Е. Овчинникова, В.В. Диордийчук // Материалы Международной научной конференции "Физика импульсных разрядов в конденсированных средах" (август 2013), Николаев, 2013. - С. 229-232.
9. Резонансные зарядные устройства генераторов импульсных токов / Л.Н. Мирошниченко, В.С. Блинцов, Ю.И. Касьянов. - Киев: Наукова думка, 1990 - 116 с.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| СЕКЦІЯ 1. АВТОМАТИКА, ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ І ПРИСТРОЇ .....                                                                                                    | 3  |
| Воронков І. І. Система передачі відеосигналу.....                                                                                                                      | 3  |
| Вєлев В. В. Система керування електроприводами суднового вантажного маніпулятора .....                                                                                 | 5  |
| Ангелов Д. О., Овсянников В. М., Грудініна Г. С. Проблематика створення систем керування просторовим рухом в умовах нестаціонарності параметрів об'єкту керування..... | 6  |
| Кіліманов Б. О., Герасін О. С. Основні поняття та аналіз системи «Розумний будинок» .....                                                                              | 8  |
| Іванченко А. О. Покровський М. В. Огляд системи управління сушильною установкою .....                                                                                  | 9  |
| Іванченко А. О. Покровський М. В. Симуляційна модель тепло- і вологообміну в елементарному шарі при сушінні зерна активним вентиляванням ..                            | 13 |
| Баліцький Є. А., Герасін О. С. Інтелектуальна система дистанційного керування мобільним роботом.....                                                                   | 16 |
| Топалов А. М., Ярошенко А. В. Комп'ютеризована система контролю експлуатаційних параметрів при зануренні та спливанні плавучого доку .....                             | 17 |
| Смагло П. Д. Розробка структури системи керування фільтрокомпенсуючого пристрою прогностного типу та алгоритму її роботи .....                                         | 19 |
| Матвієнко С. А. Математична модель динаміки руху мобільного двоколісного робота з диференціальним приводом по горизонтальній площині.....                              | 21 |
| Дьяконов А. С., Козлов Е. В., Ихсанов Ш. М. Использование приемников RTL-SDR в учебном процессе при исследовании сигналов морских и речных судов в технологии AIS..... | 22 |
| Величко О. А. Данько О. Ю., Добровенко О. В. Розробка двох координатного лазерного верстата з блоком керування на платформі Arduino.....                               | 24 |
| Ківенко О. О., Діденко М. П., Кіценко Р. О. Розробка простого SSD – універсального генератора для лабораторій кафедри ТЕЕС.....                                        | 25 |
| СЕКЦІЯ 2. ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ .....                                                                                                          | 27 |
| Димитров Ю. Ю., Кубов В. И. Моделирование хаотических колебаний в импульсных повышающих преобразователях напряжения .....                                              | 27 |
| Єгоров Е. К. Пристрій для заряду акумуляторних батарей асиметричним струмом.....                                                                                       | 30 |



|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Свердлик К. В., Кириченко О. С.. Вплив товщини напівпровідників на ефективність термоелектричного модуля .....                             | 33 |
| Гратило С. О. Розробка удосконаленого фільтрокомпенсуючого пристрою з широтно-імпульсним регулюванням реакторного компенсатора.....        | 35 |
| СЕКЦІЯ 3. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД.....                                                                                               | 38 |
| Дун Сяофей настройка електропривода с двигателем двойного питания.....                                                                     | 38 |
| Громаченко В. В. Дослідження системи управління електроприводом підйому крана .....                                                        | 40 |
| Коновенко Г. А. Система частотного керування швидкістю електропривода з кривошипно-шатунним механізмом.....                                | 43 |
| Грабовський І. В. Оцінка електромагнітного моменту в частотному електроприводі .....                                                       | 44 |
| Горобець М. М. Робастна система керування електроприводу головного руху повздовжньо-стругального верстата .....                            | 46 |
| Гордієнко Р. О., Мінько О. Ф., Цурака Р. В.Васильєв О. Г. Шляхи підвищення енергозбереження в електроприводах промислових механізмів ..... | 48 |
| Низовий А. С., Шарейко Д. Ю. Використання контуру потужності в металорізальних верстатах .....                                             | 51 |
| Козлов А. Ю., Черно О. О. Комп'ютеризована система управління електроприводом самозатискного патрону токарного верстату .....              | 53 |
| Полудневич А. Ю. Робастне керування електропривода подач токарно-гвинторізного верстата .....                                              | 53 |
| Іванов А. В., Черно О. О. Комп'ютеризована система управління електроприводом свердловинного насоса.....                                   | 55 |
| Сілівко В. М., Гуров А. П. Комп'ютеризована система керування резонансною вібраційною машиною .....                                        | 56 |
| Гаврилаш О. М., Гуров А. П. Система вібродіагностики електроприводів верстатів .....                                                       | 57 |
| Бондар О. В. Розробка системи керування електропривода головного руху металорізального верстата .....                                      | 59 |
| Шарап С. А. Перспективний енергоефективний електропривод на базі синхронного двигуна з постійними магнітами .....                          | 60 |

|                                                                                                                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Волянський С. М., Біленький О. О., Гненний Д. С., Жила Ю. Ю., Янгусаров О. В. Огляд і аналіз шляхів підвищення енергетичної ефективності електро механічних систем..... | 62        |
| Волянська Я. Б., Підлубний Д. О., Комаров О. І., Лапенко В. М. Огляд сучасних методик розрахунку показників надійності електрообладнання транспортних засобів.....      | 63        |
| Андрощук Д. В., Оружак І. В. Автоматизований електропривод системи вентиляції технологічного приміщення.....                                                            | 64        |
| Діденко Я. В., Оружак І. В. Автоматизований електропривод подач вертикально-фрезерного верстата .....                                                                   | 65        |
| Кузьмін М. В., Оружак І. В. Підвищення ефективності електропривода подач вертикально-свердильного верстата.....                                                         | 66        |
| Фудар М. М. Система керування електроприводу головного руху металорізального верстата.....                                                                              | 67        |
| Явтушенко В. В. Синтез системи керування електропривода подач консольно-фрезерного верстата.....                                                                        | 67        |
| Ду Сін, Рогожинський В. В., Гаврилов С. О. Синтез цифрового регулятора асинхронного електропривода в Matlab .....                                                       | 68        |
| Власов О. О., Ярохін С. В. Система керування електропривода суднового компресора.....                                                                                   | 69        |
| Гаврилюк О. С., Ярохін С. В. Автоматизований електропривод суднового насоса .....                                                                                       | 69        |
| Ліщук А. В., Ярохін С. В. Автоматизований електропривод механізму підйому порталного крана .....                                                                        | 70        |
| <b>СЕКЦІЯ 4. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ КОМПЛЕКСИ, ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ І АПАРАТИ.....</b>                                                                                         | <b>71</b> |
| Тутов Д. О. Теоретико-експериментальне дослідження стаціонарного теплого поля струмопровідних шин розподільчого пристрою .....                                          | 71        |
| Жежело А. О., Кімстач О. Ю. Удосконалена схема підключення обмоток асинхронних двигунів підвищеної безвідмовності .....                                                 | 72        |
| Тричук П. В. Усунення перекосу фаз і забезпечення заданої фазної напруги .....                                                                                          | 73        |
| Чепко А. С., Кириченко О. С. Моделювання циліндричного термоелектричного модуля .....                                                                                   | 74        |

|                                                                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Пальчиков О. О., Домантович Е. А., Пилипенко Ю. В., Синичкин А. С., Цыцк Н. Н. Анализ методов расчета мощности судовых электростанций для сухогрузов и промысловых судов .....                         | 76  |
| Чорноморець В. С., Катрич Ю. О., Мушинський В. А. Удосконалення трифазних трансформаторів на основі принципу паралельності стінок обмоткових вікон просторового магнітопроводу .....                   | 78  |
| Гончарук В. С. Авдєєва О. А. Шляхи зниження енерговитрат та матеріаломісткості виробництва асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором .....                                                       | 79  |
| Курило В. В., Авдєєва О. А. Аналіз можливості удосконалення суднового трифазного трансформатора потужністю 1000 кВ·А на основі заміни планарної електромагнітної системи на просторову радіальну ..... | 83  |
| Мінєєв А. А., Авдєєва О. А. Аналіз систем гребного електроприводу риболовних траулерів .....                                                                                                           | 85  |
| Щербець А. В., Авдєєва О. А. Аналіз конструкцій та способів удосконалення планарних електромагнітних систем трифазних трансформаторів .....                                                            | 88  |
| Зенов В. С., Коваленко О. В., Овсянников В. М. Аналіз конструктивного виконання безщіткових судових генераторів .....                                                                                  | 91  |
| Крицький С. А., Кос Є. В., Овсянников В. М. Особливості технічної експлуатації судових електроенергетичних систем .....                                                                                | 95  |
| Зенов В. С., Кос Є. В., Крицький С. А., Овсянников В. М. Управління генераторним розподілом енергії з системою керування потужності .....                                                              | 98  |
| Захаров Е. А., Швыдкий Н. Н., Халанчук П. Н. Перспективные направления модернизации элементов судовой электростанции .....                                                                             | 104 |
| Ставинський Р. А., Філіпчук О. М., Гавриленко Г. В. Дослідження впливу трифазного активного випрямляча напруги на єдину ЕЕС .....                                                                      | 105 |
| Шевченко В. В., Бондар І. Ю., Бугранов В. П., Дослідження та впровадження коливального вітрогенератора малої потужності на морських судах .....                                                        | 107 |
| Аврам Є. М., Жук О. К. Розробка системи керування удосконаленим гібридним фільтро-компенсуючим пристроєм .....                                                                                         | 109 |
| СЕКЦІЯ 5. ІМПУЛЬСНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ .....                                                                                                                                                         | 112 |
| Малюшевська А. П., Петрієнко В. О., Уніфікація конструктивних елементів для високовольтих імпульсних конденсаторів .....                                                                               | 112 |
| Малюшевська А. П., Рибалка О. В., Використання плівкових діелектричних систем в високовольтих імпульсних конденсаторах .....                                                                           | 113 |

|                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Харченко В. В. Получение наноразмерных карбидов металлов в процессе<br>электровзрыва.....                                                                | 115 |
| Брагін Д. С., Юрочко Д. І. Трифазний низьковольтний генератор імпульс-<br>них струмів для обробки розплаву.....                                          | 117 |
| Юрочко Д. І., Брагін Д. С. Методичні особливості вимірювання електричних<br>характеристик при електричних розрядах.....                                  | 117 |
| Касьянов Є. О., Касьянов Ю. І. Особливості використання електроімпульс-<br>них установок в автономних електросистемах та вимоги до їх зарядних пристроїв | 119 |

ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ АВТОРІВ

# ВІСНИК

## НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ



Згідно з бюлетенем ВАК України № 12 від 2009 року (с. 5); № 5 від 2010 року (с. 15); № 6 від 2010 року (с. 13) електронне видання «Вісник НУК» внесене до переліку електронних наукових фахових видань.

Видання виходить до 6 разів на рік в електронному вигляді та 1 раз на рік — у друкованому.

Матеріали, опубліковані у «Віснику НУК», зараховуються як фахові у галузях технічних та економічних наук.

Видання містить статті з результатами досліджень за групами спеціальностей: кораблебудування; обробка матеріалів у машинобудуванні; галузеве машинобудування; електротехніка; інформатика; обчислювальна техніка та автоматизація; техногенна безпека; енергетика; машинобудування; економіка та управління підприємствами.

<http://ev.nuos.edu.ua>

### Для подання статті необхідні:

- експертний висновок про можливість опублікування;
- протокол засідання експертної комісії;
- витяг із протоколу засідання кафедри;
- рецензія на статтю;
- відомості про авторів (анкета автора);
- 2 примірники роздрукованої статті на папері формату А4;
- електронний варіант статті.

### Статті приймаються за адресою:

каб. 551, просп. Героїв Сталінграда, 9,  
м. Миколаїв, 54025

тел.: (+380512) 42-32-71

e-mail: [ev@nuos.edu.ua](mailto:ev@nuos.edu.ua)

### Контактна особа:

Крива Маргарита Сергіївна

Мова збірника: українська, російська,  
англійська

*Наукове видання*

**АВТОМАТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА – 2018**

ВСЕУКРАЇНЬСЬКА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ І  
МОЛОДИХ УЧЕНИХ

**15-16 листопада 2018 року**

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

**МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ**

*(українською та російською мовами)*

Відповідальний за випуск:  
Комп'ютерна верстка:

О. О. Черно  
М. В. Шилюк

---

Видавець Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова  
проспект Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025  
E-mail: [publishing@nuos.edu.ua](mailto:publishing@nuos.edu.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2506 від 25.05.2006 р.