

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

МАТЕРІАЛИ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

21-22 квітня 2016 року

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

МАТЕРІАЛИ

Миколаїв 2016

УДК 681.5:621.3

ББК 81a73

П 75

Сучасні проблеми автоматики та електротехніки: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції. - Миколаїв: НУК, 2016. – 57 с.

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

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

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

ОРГАНІЗАТОРИ:

1. МОН України;
2. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;
3. Академія наук суднобудування України;
4. Одеська національна морська академія;
5. Херсонська державна морська академія.

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

Комп'ютерна верстка:
Відповідальний за випуск:

І. Л. Вінниченко
О. О. Черно

© Видавництво НУК, 2016

© Національний університет кораблебудування, 2016

ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ АВТОРІВ



НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ КОНФЕРЕНЦІЇ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ



<http://conference.nuos.edu.ua>

Для участі у конференції необхідно:

- На сайті конференцій НУК обрати конференцію за вашим напрямком
- На сторінці обраної конференції заповнити анкету учасника у розділі «Реєстрація»
- Пройти процедуру верифікації (для співробітників та студентів НУК даний етап пропускається)
- Завантажити тези доповідей у систему
- Оплатити участь (за допомогою платіжної системи НУК або платіжним дорученням)

На сторінці обраної конференції ви знайдете:

- Інформацію щодо організаторів
- Дату та місце проведення конференції
- Регламент та робочі мови конференції
- Напрямки роботи конференції
- Вимоги до оформлення тез доповідей
- Вартість участі у конференції
- Інформаційний лист конференції
- Сторінку конференції на **facebook**
- Архів конференцій НУК за попередні роки

Контактна інформація:

кім. 456, просп. Героїв Сталінграда, 9, м. Миколаїв, 54025
+(380512)70-91-04; 70-91-00; fax: +(380512)43-07-95; e-mail: conference@nuos.edu.ua

СЕКЦІЯ 1. АВТОМАТИКА, ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ І ПРИСТРОЇ**УДК 681.5**

*Білюк І. С., канд. техн. наук, доцент, Бугрім Л. І., канд. техн. наук, доцент, Курган А. В.
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв*

ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ГАРЯЧОГО ЦИНКУВАННЯ

Якість процесу гарячого цинкування залежить від дотримання на належному рівні вимог технологічного процесу. Однією із найбільш важливих складових технологічного процесу є підтримання із заданою точністю температурного режиму за допомогою систем автоматичного регулювання.

У роботах [1, 2] проведено дослідження системи автоматичного регулювання температури стінки ванни для гарячого цинкування при різних параметрах налагодження регулятора температури та виконано синтез комбінованої системи керування процесом гарячого цинкування.

В даному повідомленні приводиться математичний опис оптимальної системи керування процесом гарячого цинкування. У якості об'єкта регулювання виконується дослідження ванни для цинкування. При оцінці динамічних властивостей ванни, необхідних для аналізу налагодження регуляторів, об'єкт регулювання приймається спрощено, як послідовне з'єднання ланки з запізненням та аперіодичної ланки першого порядку.

При розрахунку параметрів оптимального регулятора об'єкт дослідження описано у просторі станів [3]. Розрахунок параметрів було виконано у програмі MATLAB. Проведено моделювання оптимальної системи керування та отримані перехідні процеси температури стінки ванни. Аналіз перехідних процесів показав, що використання оптимального регулятора дозволяє досягнути високої швидкодії системи керування.

Список використаних джерел:

1. Бугрім Л.І. Білюк І.С. Дослідження системи автоматичного регулювання температури стінки ванни для гарячого цинкування // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – 2010. – № 5 (64) част. 1. – С. 11-14.
2. Бугрім Л.І. Білюк І.С. Комбінована система автоматичного регулювання процесу гарячого цинкування // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка – Полтава: ПолтНТУ, 2015 – № 1(33) С.14-17.
3. Хлопенко М.Я., Білюк І.С., Шевченко В.В. Оптиміальне керування об'єктами: Навчальний посібник. – Миколаїв: НУК, 2013. – 172 с.

УДК 681.5

*Шмигельська І. В., Скакодуб О. С., Козлов О. В.
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв*

КОМПЛЕКС ЗАДАЧ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ БЕЗПЕРЕРВНОГО ПІРОЛІЗУ ЦІЛИХ ЗНОШЕНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН

Проблема утилізації зношених автомобільних шин (АШ) і гумотехнічних виробів, що вийшли з експлуатації, є однією з головних сучасних екологічних проблем, викликаних розвитком промисловості та ростом урбанізації в будь-якій країні світу. Досить перспективним методом розв'язання даної проблеми є використання високопродуктивної технології безперервної термічної утилізації, в основу якої покладено принцип збільшення теплопровідності загального об'єму сировини в реакторі за рахунок досягнення максимального ущільнення цілих АШ в процесі їх піролізу [1]. Застосування даної технології дозволяє суттєво підвищити енергетичну ефективність процесу утилізації АШ, а також отримувати на виході рідкі та газоподібні фракції альтернативного палива.

Для реалізації технології безперервної термічної утилізації цілих зношених АШ використовуються спеціалізовані технологічні комплекси, які, в свою чергу, являють собою складні багатокомпонентні технічні об'єкти і потребують наявності розвинених комп'ютеризованих систем автоматичного керування (КСАК) [1]. Комплексна автоматизація технологічних об'єктів даного типу дозволяє значно підвищити їх ефективність роботи та економічні показники [2].

Розв'язання задач синтезу КСАК технологічними комплексами утилізації АШ доцільно здійснювати на основі аналізу основних властивостей та технічних характеристик технологічного процесу утилізації АШ з селекцією параметрів (сигналів, координат), що підлягають керуванню [2].

Функціональна структура узагальненого технологічного комплексу утилізації цілих зношених АШ як багатокоординатного об'єкта керування наведена на рис. 1, де позначено: ПГ – піролізний газ; РП – рідке паливо; ПГС – парогазова суміш; ТЗ – твердий залишок; ЗГ – зріджений газ; П – повітря; ПТ – пластинчатий теплообмінник; ЕК31, ЕК32 – електрокерувані заслінки вузла завантаження реактора (ВЗР); ЛРВ1, ЛРВ5 – лінійні регулятори витрати охолоджувальної води (ОВ), що застосовуються в системах охолодження (СО) вузла вивантаження реактора (ВВР) та вихідного конденсатора (ВК); ЛРВ2-ЛРВ4 – лінійні регулятори витрати охолоджува-

льного повітря (ОП), що застосовуються в системах охолодження першого (1К,) другого (2К) та третього (3К) контурів багатоконтурної циркуляційної системи (БЦС), відповідно;

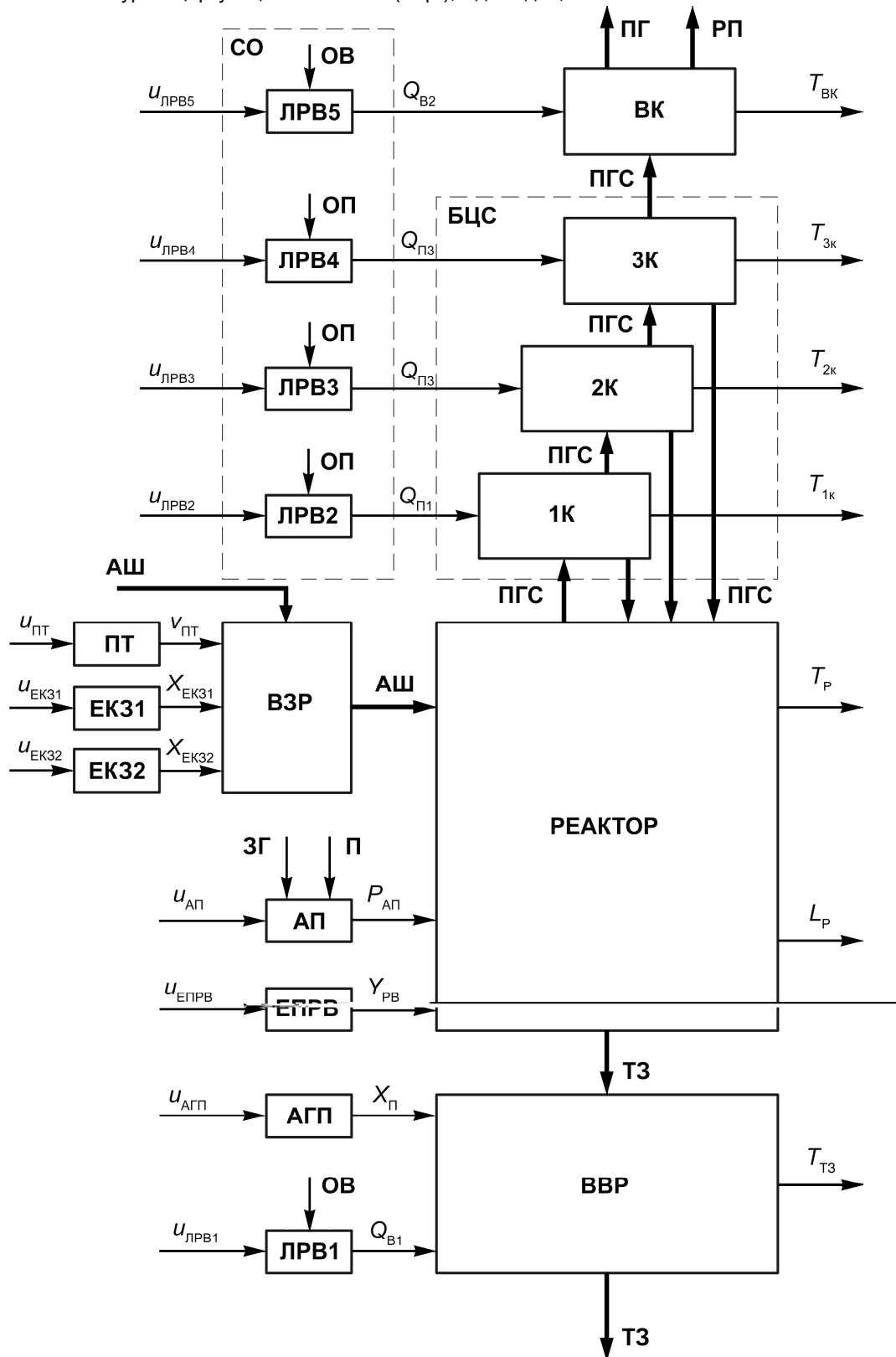


Рис. 1. Функціональна структура узагальненого технологічного комплексу утилізації АШ

АП – автоматичний палиник; ЕПРВ – електропривод рухомого вантажу; АГП – автоматичний гідропривід; $u_{ПТ}$, $u_{ЕК31}$, $u_{ЕК32}$, $u_{АП}$, $u_{ЕПРВ}$, $u_{АГП}$ – сигнали керування ПТ, ЕК31, ЕК32, АП, ЕПРВ та АГП, відповідно; $u_{ЛРВ1}$ - $u_{ЛРВ5}$ – сигнали керування ЛРВ1-ЛРВ5; $v_{ПТ}$ – швидкість руху ПТ; $x_{ЕК31}$, $x_{ЕК32}$, $x_{П}$ – лінійні переміщення ЕК31, ЕК32 та

поршня АГП у ВВР; $P_{АП}$ – потужність нагріву АП; $Y_{РВ}$ – вертикальне переміщення рухомого вантажа у реакторі; $Q_{в1}$, $Q_{в2}$ – витрати охолоджувальної води в системах охолодження ВВР та ВК, відповідно; $Q_{п1}$, $Q_{п2}$, $Q_{п3}$ – витрати охолоджувального повітря в системах охолодження першого, другого та третього контурів БЦС, відповідно; T_P , L_P – температура нагріву та рівень завантаження реактора; $T_{ТЗ}$ – температура твердого залишку на виході ВВР; $T_{1к}$, $T_{2к}$, $T_{3к}$, $T_{ВК}$ – температури першого, другого та третього контурів БЦС, а також на виході ВК.

Аналіз основних властивостей та технічних характеристик узагальненого комплексу утилізації АШ, наведеного в [1], показав, що для його ефективного функціонування необхідно з певною точністю в автоматичному режимі керувати процесом завантаження АШ у ВЗР, вертикальним переміщенням рухомого вантажа, температурними режимами в реакторі, в контурах БЦС, в ВК та на виході ВВР, а також процесом вивантаження твердого залишку з ВВР.

Розглядаючи даний технологічний комплекс як складний багатокоординатний об'єкт керування можна сформулювати наступні задачі його автоматичного керування: автоматичне керування швидкістю руху ПТ; автоматичне керування положенням ЕК31 та ЕК32; автоматичне керування температурами реактора, першого, другого та третього контурів БЦС, а також на виході ВК та ВВР; автоматичне керування вертикальним переміщенням рухомого вантажа в корпусі реактора; автоматичне керування лінійним переміщенням поршня АГП у ВВР; автоматичне керування процесом утилізації цілих зношених АШ згідно керуючої програми.

Подальші наукові дослідження доцільно проводити в напрямку розробки математичних моделей та керуючих пристроїв спеціалізованих КСАК технологічними комплексами утилізації АШ.

Список використаних джерел:

1. Пат. 98287 Україна, МПК F23G5/027, C08J11/04. Універсальна автоматизована установка безперервного піролізу цілих зношених автомобільних шин [Текст] / Л. М. Маркіна, М. С. Крива, М. В. Рудюк, С. С. Рижков; заявл. 27.10.2014; опубл. 27.04.2015, Бюл. №8. – 12 с.
2. Кондратенко, Ю. П. Аналіз комплексу задач та координат керування технологічним процесом екопірогенезису [Текст] / Ю. П. Кондратенко, О. В. Козлов // Технічні вісті. Вип. 1(33), 2(34), 2011. – С. 13-16.

СЕКЦІЯ 2. ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

УДК 621

Гуров А. П., канд. техн. наук, професор, Неустров Р. О.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

МОДЕЛЮВАННЯ ПЛОСКИХ КОЛИВАНЬ ВІБРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДОМ

Вібраційні установки використовуються в промисловості для здійснення різних технологічних процесів, таких як вібраційне ущільнення бетонних сумішей, вібраційне транспортування, сепарація і багатьох інших [1]. З усіх видів вібраційних приводів, що використовуються, найбільш перспективним є електромагнітний привод, що має наступні переваги: високий ККД при роботі в режимі, наближеному до резонансного, висока надійність, великий термін служби, можливість створювати вібрації частотою 100 Гц і вище, можливість незалежного керування амплітудою і частотою коливань [2]. У багатьох наукових роботах, присвячених дослідженню динаміки вібраційних установок з електромагнітним приводом, в тому числі [3, 4], розглядаються коливання, що створюються одним вібратором уздовж однієї осі. У той же час, більшість установок містять два і більше електромагнітних вібраторів, осі яких не лежать на одній прямій. У цих випадках виникають не тільки поступальні, а й поворотні коливання робочого органу, які необхідно враховувати при розробці керованих електромагнітних приводів.

Мета роботи – створення математичної та динамічної моделей коливальної системи з двома електромагнітними вібраторами та розрахунок її частотних характеристик.

Розглянемо вібраційну установку, робочий орган якої здійснює рух за допомогою двох електромагнітних вібраторів, кожен з яких містить дві реактивні маси. Динамічна схема даної установки наведена на рис. 1. На схемі прийняті наступні позначення: m_1, J_1 – маса і момент інерції робочого органу; c_{11}, c_{12} – жорсткості амортизаторів; b_{11}, b_{12} – коефіцієнти в'язкого тертя в амортизаторах; $m_2 - m_5$ – реактивні маси вібраторів; $c_2 - c_5$ – жорсткості пружин вібраторів; $b_2 - b_5$ – коефіцієнти в'язкого тертя в пружинах вібраторів; F_1, F_2 – створювані вібраторами електромагнітні сили.

На основі рівняння Лагранжа 2-го роду складаємо диференціальні рівняння:

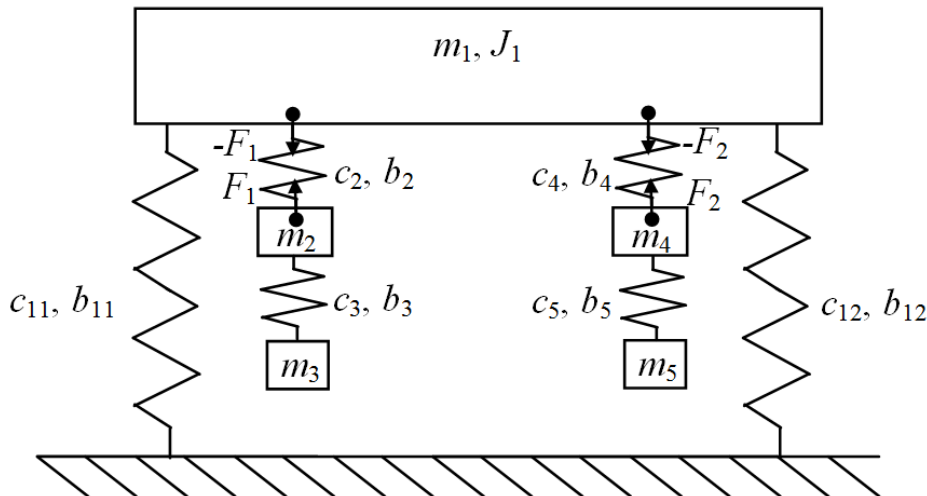


Рис. 1. Динамічна схема вібраційної установки

$$\begin{aligned}
 m_1 \frac{d^2 y_1}{dt^2} &= -b_{11} \left(\frac{dy_1}{dt} - H \cdot \frac{d\varphi}{dt} \right) - b_{12} \left(\frac{dy_1}{dt} + N \cdot \frac{d\varphi}{dt} \right) - b_2 \left(\frac{dy_1}{dt} - \frac{dy_2}{dt} - L \cdot \frac{d\varphi}{dt} \right) - b_4 \left(\frac{dy_1}{dt} - \frac{dy_4}{dt} + W \cdot \frac{d\varphi}{dt} \right) - \\
 &- c_{11} (y_1(t) - H \cdot \varphi(t)) - c_{12} (y_1(t) + N \cdot \varphi(t)) - c_2 (y_1(t) - y_2(t) - L \cdot \varphi(t)) - c_4 (y_1(t) - y_4(t) + W \cdot \varphi(t)) - \\
 &- F_1(t) - F_2(t); \\
 m_2 \frac{d^2 y_2}{dt^2} &= -b_2 \left(\frac{dy_2}{dt} - \frac{dy_1}{dt} + L \cdot \frac{d\varphi}{dt} \right) - b_3 \left(\frac{dy_2}{dt} - \frac{dy_3}{dt} \right) - c_2 (y_2(t) - y_1(t) + L \cdot \varphi(t)) - c_3 (y_2(t) - y_3(t)) + F_1(t); \\
 m_3 \frac{d^2 y_3}{dt^2} &= -b_3 \left(\frac{dy_3}{dt} - \frac{dy_2}{dt} \right) - c_3 (y_3(t) - y_2(t));
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
m_4 \frac{d^2 y_4}{dt^2} &= -b_4 \left(\frac{dy_4}{dt} - \frac{dy_1}{dt} - W \cdot \frac{d\varphi}{dt} \right) - b_5 \left(\frac{dy_4}{dt} - \frac{dy_5}{dt} \right) - c_4 (y_4(t) - y_1(t) - W \cdot \varphi(t)) - c_5 (y_4(t) - y_5(t)) + F_2(t) ; \\
m_5 \frac{d^2 y_5}{dt^2} &= -b_5 \left(\frac{dy_5}{dt} - \frac{dy_4}{dt} \right) - c_5 (y_5(t) - y_4(t)) ; \\
J_1 \frac{d^2 \varphi}{dt^2} &= b_{11} \left(\frac{dy_1}{dt} - H \cdot \frac{d\varphi}{dt} \right) \cdot H - b_{12} \left(\frac{dy_1}{dt} + N \cdot \frac{d\varphi}{dt} \right) \cdot N + b_2 \left(\frac{dy_1}{dt} - \frac{dy_2}{dt} - L \cdot \frac{d\varphi}{dt} \right) \cdot L - b_4 \left(\frac{dy_1}{dt} - \frac{dy_4}{dt} + W \cdot \frac{d\varphi}{dt} \right) \cdot W + \\
&+ c_{11} [y_1(t) - H \cdot \varphi(t)] \cdot H - c_{12} [y_1(t) + N \cdot \varphi(t)] \cdot N + c_2 [y_1(t) - y_2(t) - L \cdot \varphi(t)] \cdot L - c_4 [y_1(t) - y_4(t) + W \cdot \varphi(t)] \cdot W + \\
&+ F_1(t) \cdot W - F_2(t) \cdot L ,
\end{aligned}$$

де $y_1 - y_5$ – вертикальні переміщення рухомих мас $m_1 - m_5$ відносно положення рівноваги; φ – кут повороту робочого органу; H та N – відстані від центру мас робочого органу до лівого і правого амортизаторів; L та W відстані від центру мас робочого органу до місць кріплення пружин лівого і правого електромагнітних вібраторів.

На основі отриманих диференціальних рівнянь була складена динамічна модель коливальної системи в програмі Simulink.

В результаті застосування до отриманих рівнянь перетворення Фур'є, були розраховані частотні характеристики коливальної системи, наведені на рис. 2.

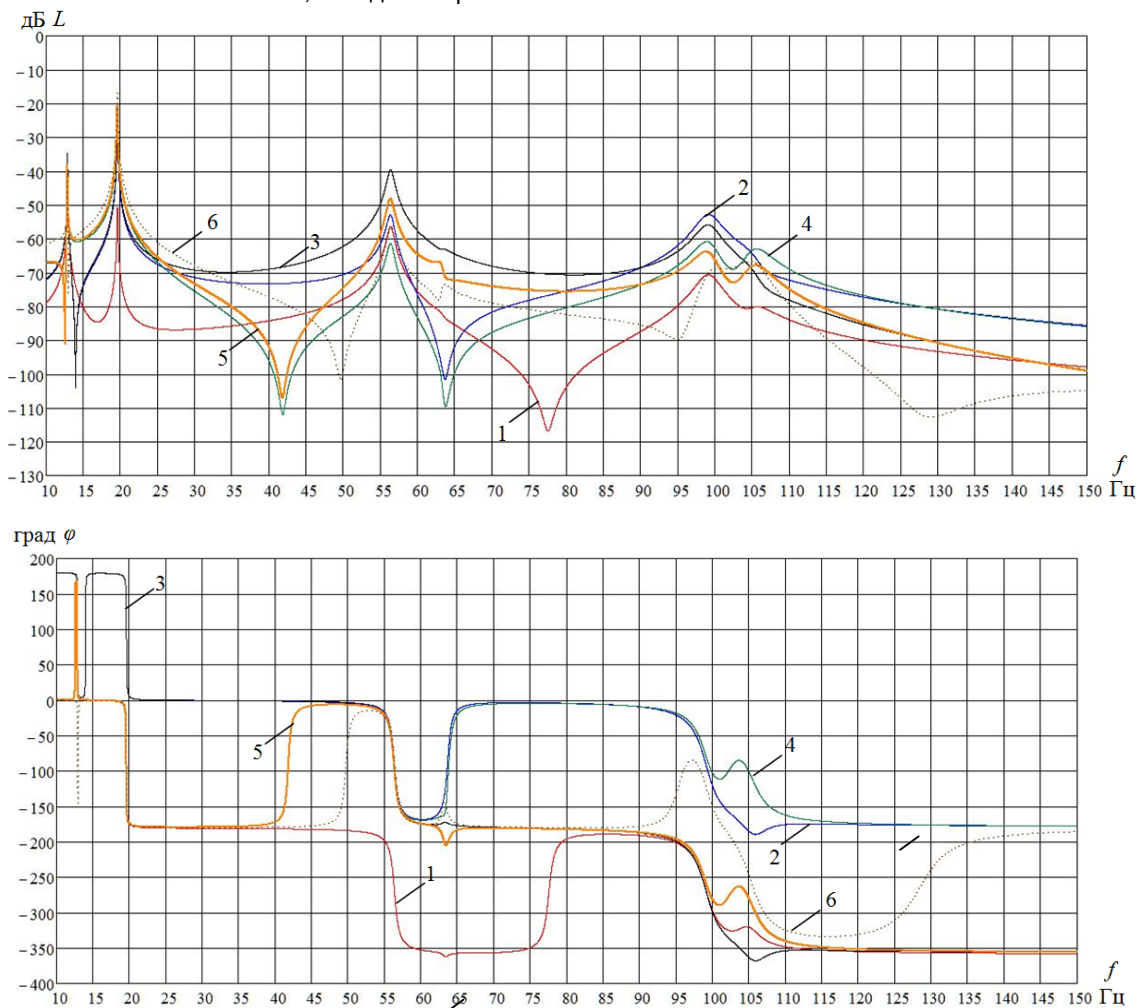


Рис. 2. Амплітудно- і фазочастотні характеристики коливальної системи:

1 - поступальних переміщень робочого органу; 2, 3 - поступальних переміщень реактивних мас лівого вібратора; 4, 5 - поступальних переміщень реактивних мас правого вібратора; 6 - поворотних переміщень робочого органу

Висновки. Розроблена на основі диференціальних рівнянь динамічна модель коливальної системи дає можливість проводити розрахунки перехідних процесів і усталених плоских коливань вібраційної установки,

що складається з амортизованого робочого органу і двох електромагнітних вібраторів, які містять по дві реактивні маси.

Отримані частотні характеристики вказують на те, що система має декілька резонансів, встановлення одного з яких є завданням системи автоматичного керування.

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. Ланець О.С. Високоэффективні міжрезонансні вібраційні машини з електромагнітним приводом (Теоретичні основи та практика створення): Монографія. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2008. – 324 с.
3. Черно О.О., Гуров А.П., Новогорецкий С.М. Особенности динамики керованого електромагнітного привоу вібраційної установки для ущільнення бетонних сумішей // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2014. – Вип. 48. – С. 87 – 96.
4. Черно А.А., Гуров А.П., Монченко М.Ю. Особенности динамики цифровой системы автоматического управления электромагнитным вибрационным приводом // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 2/2015 (30). – С. 10 – 16.

УДК 621.314.5

Вінниченко І. Л.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ЧАСТОТИ ЗІ ЗНИЖЕНИМ КОЕФІЦІЄНТОМ ГАРМОНІК ВИХІДНОЇ НАПРУГИ

Особливістю резонансних перетворювачів з регульованою вихідною напругою є необхідність узгодження контуру і вихідних фільтрів з навантаженням. Прийнятна якість вихідної напруги забезпечується при незначних відхиленнях параметрів навантаження від розрахункових значень. У разі істотних змін навантаження резонансного інвертору або регульованого зменшення амплітуди низькочастотної вихідної напруги на його кривій спостерігаються високочастотні коливання в околі перетину часової осі, що призводить до підвищення коефіцієнту гармонік напруги.

Ці коливання з'являються через надмірну шпаруватість високочастотних імпульсів інвертору при відстеженні системою управління заданого поточного середнього значення вихідної напруги. За рахунок відносно великої енергії імпульсу резонансного контуру при малій величині вихідної напруги виникають викиди і пульсації, які можна порівняти з величиною поточного середнього. Це помітно спотворює синусоїдальну криву вихідної напруги при її переходах через нуль. З'являються шкідливі для живлення апаратури високочастотні завади на виході. Знизити спотворення від проріджування імпульсів можна за допомогою переходу контуру на більш високу резонансну частоту, коли знижується величина вихідної напруги або зменшується навантаження перетворювача. Для цього пропонується використовувати додаткові ємності в резонансному колі. Дане рішення дозволяє знизити енергію імпульсів при зниженні напруги. При цьому заповнення імпульсами стає більш щільним і спотворення напруги знижуються.

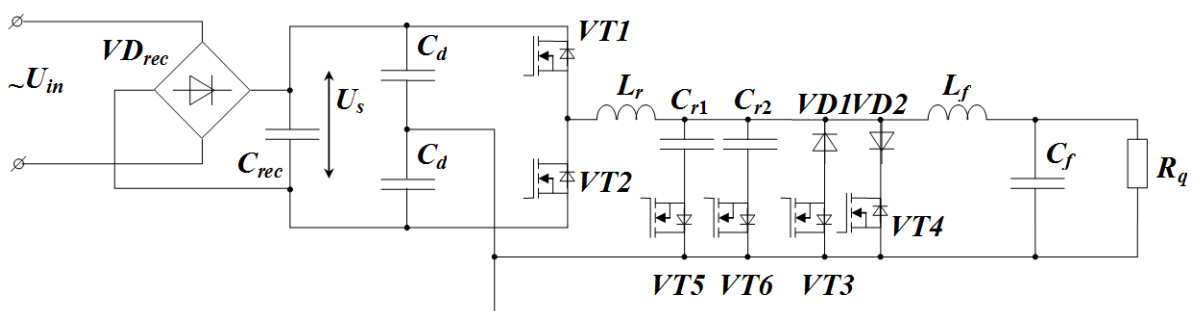


Рис. 1. Зниження спотворень вихідної напруги можна домогтися також шляхом зміни параметрів вихідного фільтра. Однак індуктивність розраховується з умов енергетичного балансу вихідного і вхідного контурів [1] і є постійним параметром схеми. А збільшення ємності фільтра призводить до зниження швидкодії перетворювача і відставання по фазі вихідної напруги від еталонного сигналу.

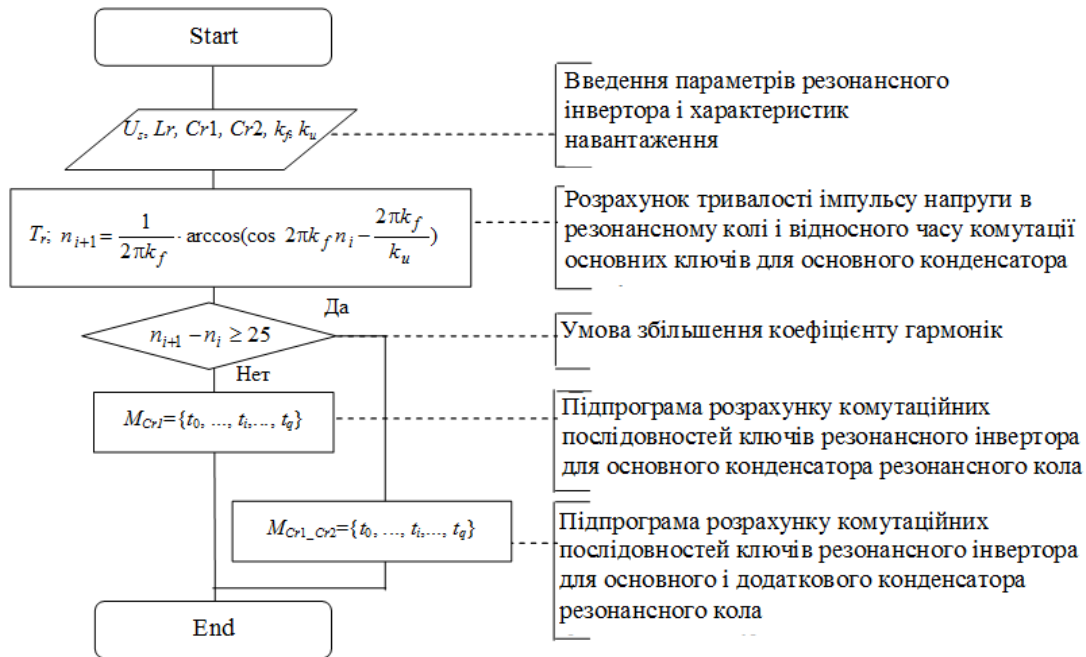


Рис. 2. Алгоритм розрахунку керуючих послідовностей для резонансного інвертора

Тому для зменшення коливань запропонований спосіб регулювання напруги резонансним інвертором, який базується на принципі часімпульсної модуляції [1], дозволяє змінювати кількість введеної протягом кожного несучого імпульсу енергії за рахунок переключення ємності контуру. Основна перевага застосованого способу регулювання полягає в тому, що на відміну від широтно- або частотно-імпульсної модуляції для регулювання не потрібно змінювати тривалість імпульсу напруги на резонансному контурі. Як показано в [1], тривалість імпульсу напруги визначається власною частотою резонансного контуру, що і дозволяє перемикаєти ключі інвертора при нульовому значенні струму (ZCS) або напруги (ZVS). Розбіжність моментів часу перемикаєти ключів з переходами струму через нуль призведе до виходу з режиму ZCS і до небажаних комутаційних втрат, а також до зниження ККД і надійності перетворювача.

Запропонований спосіб регулювання полягає у використанні послідовного резонансного контуру, який перемикається, що складається з незмінних котушки індуктивності і одного з двох резонансних конденсаторів Cr1 або Cr2 (рис. 1), перемикаєти яких відбувається завдяки комутації додаткових ключів резонансного контуру. Параметри елементів схеми розраховані на амплітудне значення вихідної напруги $U_{Rq\ max} = U_{in} / 2 = 25\text{ В}$, і є наступними: Cr1 = 0.1 мкФ, Lr = 2.5 мГн, Lf = 1.8 мГн, Cf = 4 мкФ. Керуючі послідовності для ключів VT1- VT6 розраховуються заздалегідь, виходячи з параметрів елементів схеми перетворювача і параметрів навантаження. Коли виникає необхідність формування зниженої напруги на навантаженні, розраховується нова послідовність керуючих імпульсів при незмінних параметрах елементів схеми. Розрахунок керуючих послідовностей відбувається за алгоритмом, наведеним на рис. 2.

Висновки. Розроблений алгоритм керування досліджуваного перетворювача частоти дозволяє знизити коефіцієнт гармонік вихідної напруги за рахунок зниження енергоємності коливального кола шляхом використання додаткових ємностей.

Список використаних джерел:

1. Павлов Г. В., Обрубов А. В., Винниченко И. Л. Электромагнитные процессы и параметры накопительных элементов в резонансном инверторе с нелинейным регулированием // Судостроение и морская инфраструктура. – 2015. – № 2(4). – С. 96-107.

УДК 621.314

Покровский М. В., канд. техн. наук, Дьячков Ю. М.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

РЕЛЕЙНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Большинство современных статических преобразователей построено с применением хорошо известных подходов к их силовым схемам. Эффективность работы преобразователей в значительной степени определяется динамическими коммутационными потерями на силовых элементах при коммутации номинальных значений токов. В резонансных преобразователях принципиально меньше динамические потери, они создают гораздо меньше помех, поскольку используется «мягкое» переключение и сигналы в силовой части имеют форму, близкую к синусоидальной.

В резонансных преобразователях для переключения транзисторов используются резонансные цепи. Переключение происходит, когда либо соответствующее [1] напряжение, либо ток пересекают нулевой уровень, что позволяет снизить нагрузку на транзисторы, уменьшить уровень коммутационных помех и повысить общую помехозащищенность схемы. Существует много типов резонансных преобразователей. Например, резонансный контур может располагаться либо в первичной, либо во вторичной цепи. Другая альтернатива – использование либо последовательного, либо параллельного резонансного контура. Существует несколько принципиальных схем резонансных преобразователей имеющих свои достоинства и недостатки.

На рис.1 показана схема параллельного резонансного преобразователя, где требуемое высокое сопротивление входного источника получено подключением дросселя $L_{вх}$ к источнику напряжения. Данная топология выгодна тем, что реализует как понижение, так и повышение уровня выходного тока, а также вблизи резонанса ток на выходе максимально схож с током источника. Однако недостатком параллельных резонансных преобразователей является увеличение тока ключей в случае возникновения перегрузок или короткого замыкания в цепи нагрузки. Возникает необходимость наличия сложной защиты ключевых элементов, сужается общий диапазон регулирования напряжения, что ведет к сужению области применения преобразователя.

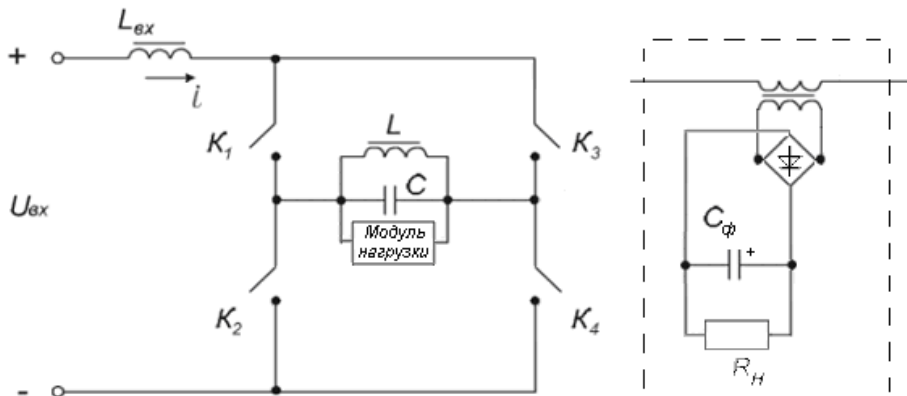


Рис. 1. Параллельный резонансный преобразователь.

Обобщённая схема реализации последовательного резонансного преобразователя представлена на рис. 2.

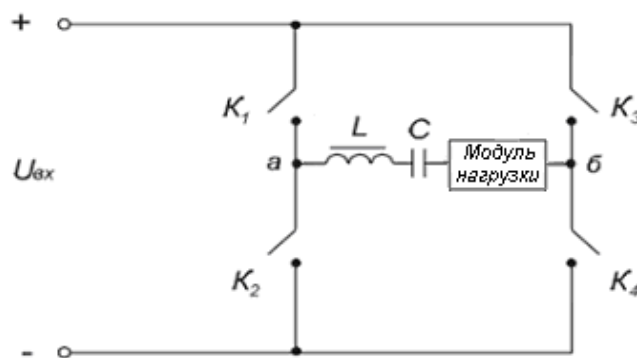


Рис. 2. Последовательный резонансный преобразователь

Преимущества подобной схемы выражаются в [2] естественной защите от перегрузок и коротких замыканий в нагрузке. Недостатком последовательных резонансных преобразователей является необходимость в рабочих частот широкого диапазона при глубоком регулировании.

Для устранения недостатков параллельных и последовательных резонансных преобразователей может использоваться схема с последовательно-параллельным резонансным контуром (рис. 3).

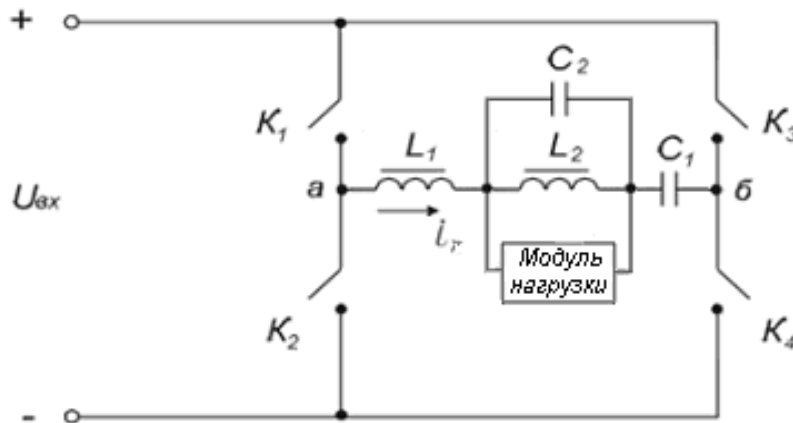


Рис. 3. Последовательно-параллельный резонансный преобразователь.

Среди методов регулирования, не требующих модификации и усложнения силовой части являются частотные, широтные и широтно-частотные методы. Общим недостатком этих методов является коммутация силовых ключей как при нулевых, так и при ненулевых значениях резонансного тока [3], что не позволяет снизить коммутационные затраты. Минимальные коммутационные потери имеют место в случае, если коммутация происходит при нулевых значениях тока резонанса. Для обеспечения этого силовые ключи должны проводить ток на протяжении целого числа полупериодов колебаний. Тогда при регулировании можно управлять обменом энергии между источником питания, резонансным контуром и нагрузкой путём чередования нескольких элементарных вариантов коммутации ключей. При первом варианте коммутации энергия от источника питания поступает в контур и нагрузку, при втором – энергия контура рассеивается на нагрузку, при третьем – энергия из контура рекупируется в источник питания. На рис. 4 показаны ток, протекающий через последовательно-параллельный контур, i_r и напряжение на нагрузке V_{out} . В зависимости от уровня [3] напряжения на нагрузке задается тот или иной вариант коммутации. На рис. 4 показана передача энергии из источника в контур и нагрузку, а также рассеяние энергии контура.

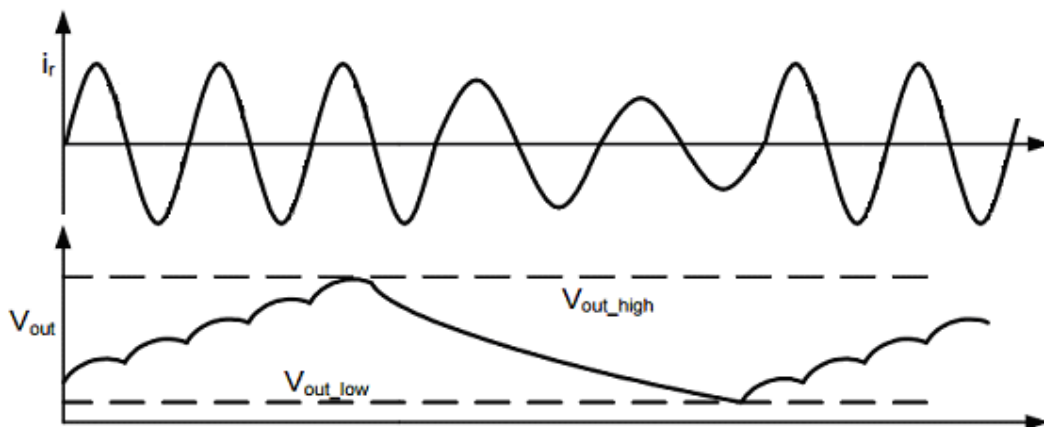


Рис. 4. Временные диаграммы работы последовательно-параллельного преобразователя напряжения с релейным управлением.

Смена элементарных вариантов коммутации должна происходить синхронно с переходами резонансного тока в ноль. Это позволит уменьшить динамические потери преобразователя.

Выводы. Существующие резонансные преобразователи проявили себя как хорошее решение для питания силовой аппаратуры, однако они имеют ряд недостатков, сужающих их область применения. Последовательно-параллельная схема с релейным управлением позволяет избавиться от некоторых типовых недостатков и добиться высокой энергоэффективности.

Список использованных источников:

1. Семенов Б. Ю. Силовая электроника: профессиональные решения. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2011.
2. Волков С. В. Чапаев В. С. Статья: «Двухтактный последовательный резонансный преобразователь.» Труды международного симпозиума «Надёжность и качество» том 1 – П.: НиКа 2008.
3. Munnariz D.J. «Analysis and design of resonant dc/dc converters for automotive applications» – IMAB. Braunschweig. 2014.

УДК 681.5

Черно О. О., канд. техн. наук, доцент, Поляков О. В., Топалов А. М.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ВІБРАЦІЙНИМ ПРИВОДОМ

Вібраційні установки широко застосовуються в промисловості для забезпечення багатьох технологічних процесів [1, 2]. Незважаючи на традиційне використання в таких установках відцентрового приводу, найбільш перспективним є електромагнітний вібраційний привід, оскільки він володіє такими перевагами, як висока надійність, тривалий термін служби, високий ККД при роботі в резонансному режимі, можливість управління амплітудою коливань незалежно від частоти. Єдиною перешкодою на шляху широкого поширення даного виду вібропривода на сьогоднішній день є необхідність здійснювати автоматичне керування для забезпечення стійкого резонансного режиму роботи. Така необхідність зумовлена двома факторами. Перший полягає в тому, що маса оброблюваного матеріалу може змінюватися, тому для підтримки резонансного режиму, необхідно автоматично змінювати частоту вимушених коливань [2]. Другий фактор полягає в тому, що в резонансному режимі амплітуда вібрації визначається демпфівальними властивостями оброблюваного матеріалу, які також можуть змінюватися в часі. Наприклад, при вібраційному ущільненні виробу з бетонної суміші, енергія, що поглинається сумішшю, з часом зменшується, і, якщо не знижувати амплітуду вимушених коливань, до кінця процесу ущільнення амплітуда коливань в кілька разів перевищить максимально допустиме значення, що призведе до руйнування виробу. Тому, для забезпечення стійкої роботи установки в резонансному режимі, необхідно автоматично управляти частотою і амплітудою вібрації.

Для керування частотою та амплітудою коливань використовується мікроконтролер з рядом датчиків, розташованих на віброустановці [3]. Система працює наступним чином. З акселерометра, встановленого на об'єкті, знімається напруга, пропорційна віброприскоренню, яка потрапляє на вхід вбудованого у мікроконтролер аналого-цифрового перетворювача (АЦП). З датчика струму, включеного в коло обмотки вібратора, знімається сигнал, пропорційний струму обмотки, який також через АЦП подається на мікроконтролер. У мікроконтролері шляхом дискретного перетворення Фур'є визначається амплітуда коливань робочого органу та їх фазове зрушення відносно електромагнітної сили. Далі визначаються помилки за амплітудою та фазою коливань і здійснюється керування амплітудою та частотою напруги за інтегральними законами.

В роботі [3] розглянуті питання побудови структури та дослідження динаміки цифрової системи автоматичного керування електромагнітним вібраційним приводом, але не розглянуто особливостей її технічної реалізації. Наведено також алгоритм керуючої програми, який реалізує операції перетворення сигналів та закон керування, але не передбачає змін режимів роботи системи та організацію інтерфейсу оператора.

Мета роботи: розробка принципів схем і програмного забезпечення системи керування електромагнітним вібраційним приводом для реалізації її роботи у різних режимах і зручного інтерфейсу оператора.

Система побудована на базі мікроконтролеру ATmega16 (DD1 на рис. 1). До порту А виконано підключення датчиків. На разі система аналізує сигнал за двома датчиками та використовуються 0-й та 2-й біти порту. До порту В підключено LSD-дисплей. Порти С і D використовуються для підключення матричної клавіатури на 16 кнопок та 6 кнопок нижнього ряду відповідно.

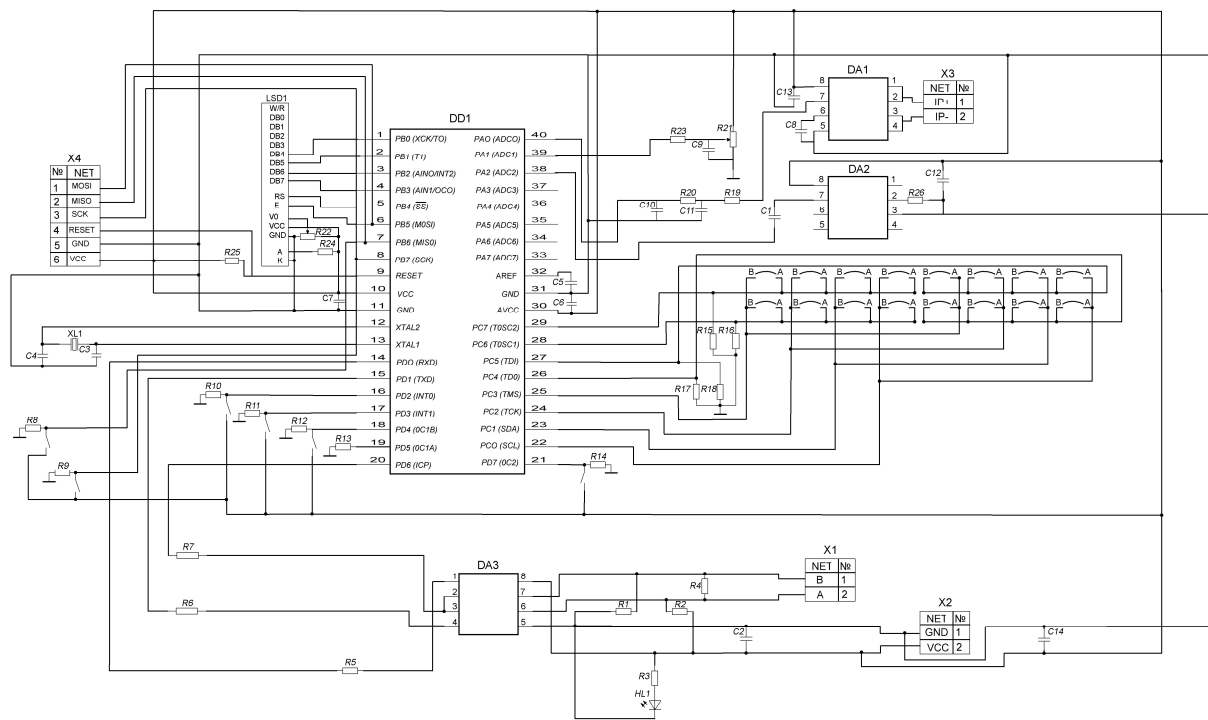


Рис. 1. Принципова електрична схема системи керування

Для виміру і перетворення вібрації обрано тензометричний акселерометр ADXL320 (DA1). Його основними перевагами є невеликі габарити, низька вартість та простота у використанні. Для виміру миттєвих значень змінного струму в обмотці вібратора обрано датчик струму ACS712ELC (DA2). Датчик струму ACS712ELC призначений для виміру постійного і змінного струму до 30A на ефекті Хола, інтегрований в малогабаритний корпус Soic8. Передача інформації з керуючого пристрою до перетворювача частоти відбувається через інтерфейс RS-485 (на схемі елемент DA3). У стандарті RS-485 для передачі і прийому даних використовується одна кручена пара проводів. Передача даних здійснюється за допомогою диференціальних сигналів. Різниця напруг між провідниками однієї полярності означає логічну одиницю, різниця іншої полярності – нуль.

На LCD-дисплей (рис. 2) виводяться два ряди по чотири значення змінних. Управління здійснюється за допомогою двох верхніх рядів кнопок (група 1). Кожному значенню відповідає пара кнопок, де ліва відповідає за зменшення значення, а права – за збільшення. При цьому, якщо затиснути кнопку, то збільшення/зменшення йде десятками, а не одиницями, як при одноразовому натисканні. Перша пара кнопок у групі 2 відповідає за перемикання набору змінних на дисплеї.

У системі використовуються наступні змінні:

w_I_H – значення частоти, що задається/розраховується;

U_ampl_H – значення амплітуди напруги, що задається/розраховується;

$Phase_pr$ – значення фазового зсуву, що задається;

X_pr_H – значення амплітуди вібрації, що задається;

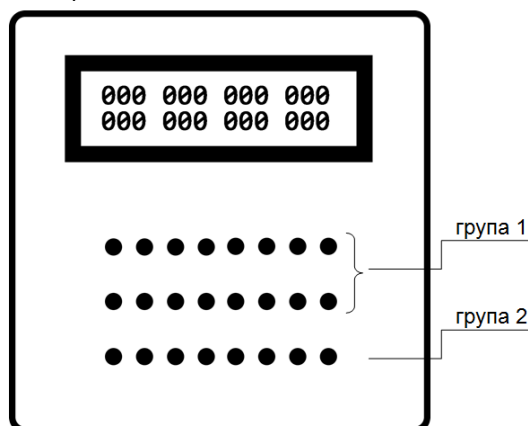


Рис. 2. Зовнішній вигляд панелі керування

Mode – вибір режиму роботи. За допомогою зміни з клавіатури цієї змінної, здійснюється перемикання між трьома режимами роботи. Можливі три варіанти встановленого значення:

000 - повністю ручний режим;

001 - режим автоматичного керування амплітудою вібрації;

002 - режим автоматичного керування амплітудою і частотою вібрації;

X_st – встановлене значення амплітуди вібрації;

Phase – розраховане значення фази;

X1 – розраховане значення амплітуди вібрації;

k_i1 – коефіцієнт інтегрального регулятора амплітуди;

k_i2 – коефіцієнт інтегрального регулятора частоти;

V_pr – швидкість наростання приписаного значення амплітуди вібрації;

Dead_zone1 – зона нечутливості у каналі керування амплітудою;

Dead_zone2 – зона нечутливості у каналі керування частотою.

У повністю ручному режимі амплітуда і частота вібрації задається за допомогою відповідних кнопок. При цьому на дисплеї можна побачити розраховані значення амплітуди та фази. Слід зазначити, що останні відображаються у всіх трьох режимах роботи. У режимі автоматичного керування амплітудою вібрації частота, як і у ручному режимі, задається з клавіатури. Оператор задає потрібне значення амплітуди коливань, а система відпрацьовує його за принципом зворотного зв'язку. У третьому режимі відбувається автоматичне керування і амплітудою, і частотою. При цьому оператор задає приписані значення амплітуди коливань та їх фазового зрушення відносно електромагнітної сили. Обидві зони нечутливості можна задавати у всіх трьох режимах.

Висновки. Розроблена принципова електрична схема системи керування електромагнітним вібраційним приводом, яка містить: ємнісний акселерометр для виміру вібрації; датчик струму, що працює на ефекті Хола; мікроконтролер ATmega16 для цифрової обробки сигналів та реалізації алгоритму керування; інтерфейс RS-485 для передачі керуючих діянь на перетворювач частоти; клавіатуру та LCD-дисплей для створення інтерфейсу оператора.

Розроблене програмне забезпечення реалізує три різних режими роботи системи керування: повністю ручний, режим автоматичного керування амплітудою і ручного керування частотою та повністю автоматичний.

Список використаних джерел:

1. Ланець О.С. Високоєфективні міжрезонансні вібраційні машини з електромагнітним приводом (Теоретичні основи та практика створення): Монографія. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2008. – 324 с.
2. Чубик Р.В., Ярошенко Л.В. Керовані вібраційні технологічні машини. – Вінниця.: ВНАУ, 2011. – 355 с.
3. Черно А.А. Управление резонансным электромагнитным вибрационным приводом с использованием алгоритма цифровой фильтрации на основе дискретного преобразования Фурье // Международный научно-технический журнал "Проблемы управления и информатики". – 2014. – №4. – С. 111 – 125.

УДК 681.5

Шарейко Д. Ю., канд. техн. наук, доцент, Білюк І. С., канд. техн. наук, доцент, Фоменко А. М., доцент НУК, Савченко О. В.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

СЛІДКУВАЛЬНА СИСТЕМА НА ОСНОВІ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА

У роботі виконано синтез сліdkувальної системи автоматичного керування на основі п'єзоелектричного двигуна з погляду можливості зміни режиму роботи від безперервного обертання до крокового переміщення. В цьому випадку зміна величини кроку проводиться за рахунок зміни тривалості керованого імпульсу живлення залежно від величини амплітуди вхідного сигналу розузгодження. Величина цього кроку може змінюватися в значних межах (від сотень кутових градусів до одиниць кутових секунд).

Реверсивний п'єзоелектричний двигун в таких системах розглядається як два незалежні двигуни на загальному валу, кожний з яких незалежно від іншого здійснює обертання в свою сторону.

На рисунку 1 представлена блок-схема такої системи [1].

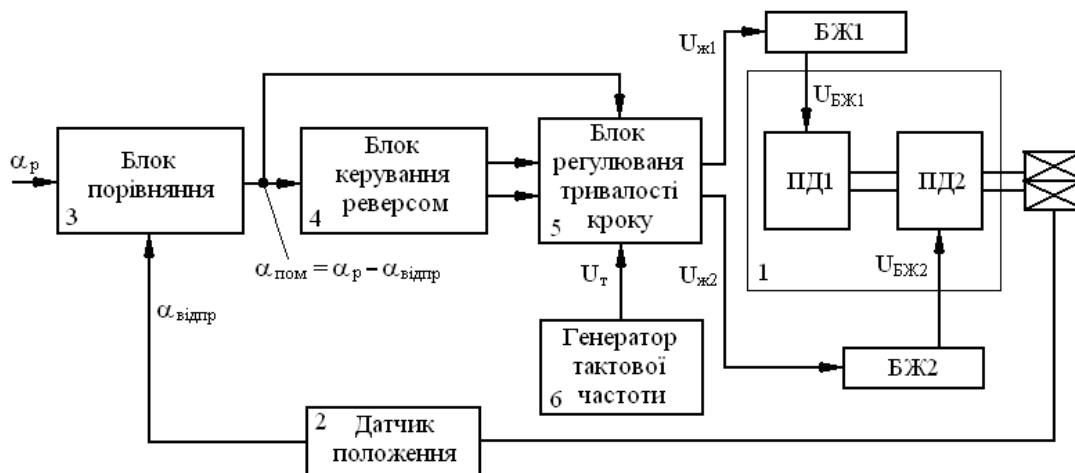


Рис. 1. Блок-схема слідкувальної системи на основі п'єзоелектричного двигуна

Система містить: п'єзоелектричний двигун 1 реверсивного обертання, представлений у вигляді двох незалежних п'єзоелектричних двигунів одно направленого обертання ПД1 і ПД2 із загальним валом і їх блоками живлення БП1 і БП2 відповідно; датчик зворотного зв'язку 2 (наприклад оптичний датчик кута); блок порівняння 3; блок управління реверсом 4; блок регулювання тривалості кроку 5; генератор тактової частоти 6.

П'єзоелектричний двигун в такій системі дозволяє здійснювати плавний перехід від режиму безперервного обертання до крокового. При цьому точність відпрацювання визначається мінімальним кутовим кроком для даної конструкції п'єзоелектричного двигуна і в кращому разі складає одиниці кутових секунд, а в деяких конструкціях – і десятки долі кутових секунд.

Для системи керування п'єзоелектричним приводом знайдена безліч положень рівноваги при подовжньому або поперечному п'єзоелефекті [2]. Відомі умови стійкості системи керування п'єзоелектричним приводом при подовжньому і поперечному п'єзоелефектах для детермінованих і випадкових дій. На відміну від системи керування з однозначною нелінійністю, для якої стійкість положення рівноваги досліджується за допомогою критерію Попова, стійкість системи керування п'єзоелектричним приводом з гістерезисною нелінійністю і безліччю положень рівноваги оцінюється із застосуванням критерію стійкості Якубовича [2].

У системах автоматичного керування п'єзоелектричним приводом використовуються: пристрій, що узгоджує; послідовний і паралельний коригувальні пристрої; посилювач потужності, який забезпечує необхідні напругу і струм для живлення п'єзоперетворювача; датчики деформації, швидкості, прискорення, напруги, заряду, струму та механічної напруги п'єзоперетворювача. Для аналізу стійкості систем керування п'єзоелектричним приводом з гістерезисною нелінійністю використовується узагальнення, при якій в системі керування ланки системи трансформуються до двох – гістерезисної ланки нелінійної частини і ланки лінійної частини системи керування (див. рисунок 2).

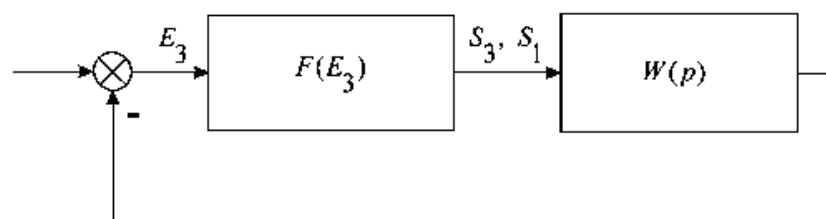


Рис. 2. Узагальнена структурна схема системи керування деформацією п'єзоперетворювача

У роботі проведено дослідження абсолютної стійкості системи керування деформацією п'єзоперетворювача для нано- і мікропереміщень при детермінованих діях на основі критерію Якубовича, який являє собою розвиток критерію абсолютної стійкості Попова. При описі системи була використана передавальна функція лінійної частини системи $W(p)$ і гістерезисні функції S_3 або S_1 п'єзоперетворювача при подовжньому і поперечному п'єзоелефектах.

Показано, що при введенні в систему коригувального пристрою, який певним чином деформує амплітудну частотну характеристику лінійної частини системи керування деформацією п'єзоперетворювача для п'єзопривода нано- і мікропереміщень, частотний критерій абсолютної стійкості буде виконуватись (див. рисунок 3).

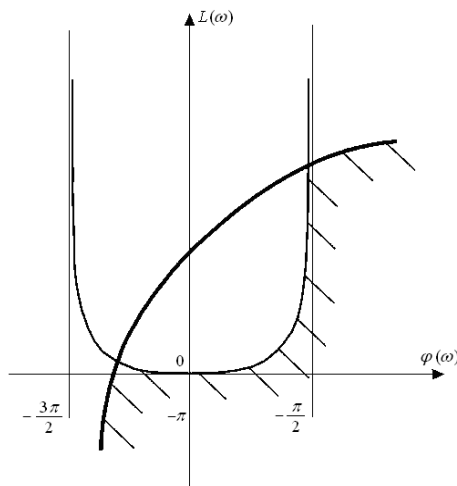


Рис. 3. Вибір коригувального пристрою за критерієм абсолютної стійкості системи керування деформацією п'єзоперетворювача

Безліч положень рівноваги системи керування деформацією п'єзоперетворювача при подовжньому або і поперечному п'єзоэффекті стійкі, якщо виконуються отримані умови на похідну гістерезисної характеристики при максимальній напруженості електричного поля в п'єзоперетворювачі. Отримані умови абсолютної стійкості системи керування деформацією п'єзоперетворювача дозволяють проводити синтез коригувальних пристроїв слідкувальної системи на основі п'єзоелектричного двигуна.

Список використаних джерел:

1. Смирнов А. Б. Мехатроника и робототехника. Системы микроперемещений с пьезоэлектрическими приводами. – С.-П.: СПбГПУ, 2003.
2. Афонин С. М. Исследование абсолютной устойчивости системы управления деформацией пьезопреобразователя для нано- и микроперемещений // Мехатроника, автоматизация, управление. № 1. 2008. – С. 10-16.

УДК 681.5

Хлопенко Н. Я., д-р техн. наук, Гаврилов С. А., канд. техн. наук.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПЫЛЕПИТАТЕЛЯ

Пылепитатели предназначены для подачи и дозирования угольной пыли к горелкам котла тепловой электростанции. В зависимости от производительности котла на нем устанавливают от 8 до 12 пылепитателей. Подача угольной пыли в пылепровод к горелкам осуществляется дозирующим колесом пылепитателя. Это колесо посажено на выходной вал червячного редуктора, который приводится во вращение электродвигателем постоянного тока. Регулирование частоты вращения дозирующего колеса осуществляется ступенчатым изменением сопротивления цепи якоря, а температура в ограниченном топочном пространстве задается оператором. Как показывает практика эксплуатации, такая система не обеспечивает необходимые плавность и точность регулирования частоты вращения дозирующего колеса из-за отклонения отдельных параметров электропривода от номинальных значений. К тому же она физически и морально устарела и имеет существенные энергетические затраты на управление. Более приемлемым решением для повышения точности регулирования скорости колеса и снижения затрат на управление является использование тиристорного электропривода с внутренним контуром скорости, содержащим робастный регулятор, и внешним контуром с задатчиком температуры в топке. Применение такой системы позволяет обеспечить надлежащее качество регулирования и безопасность функционирования технологического процесса подачи угольной пыли к горелкам котла тепловой электростанции.

Целью настоящего сообщения является синтез оптимального стабилизирующего робастного регулятора тиристорного электропривода пылепитателя котельного агрегата тепловой электростанции.

На рис.1 представлена структурная схема объекта управления, включающая в себя электродвигатель постоянного тока независимого возбуждения с управляемым тиристорным преобразователем.

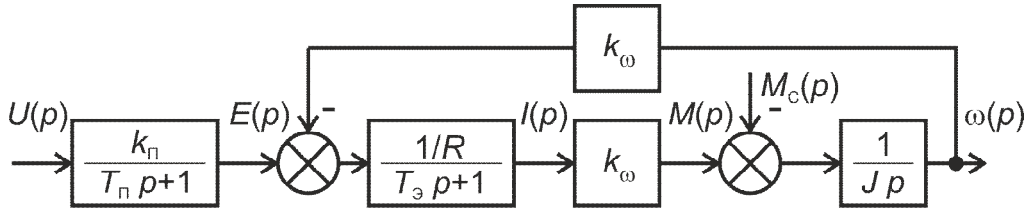


Рис.1. Структурная схема объекта управления

В этой схеме за неопределенные параметры, наиболее чувствительные к изменениям объекта, были выбраны коэффициент усиления тиристорного преобразователя k_n , момент инерции электропривода J , активное сопротивление R и индуктивность $L_э$ якорной цепи, от которой зависит электромагнитная постоянная времени $T_э = L_э / R$.

При математическом описании объекта магнитный поток предполагался постоянным, а влияние реакции якоря и вихревых токов не учитывалось. При этих допущениях использовались известные из теории электропривода уравнения движения объекта [1]. Для описания неопределенностей привлекалось верхнее линейное дробное преобразование. В качестве переменных состояния использовались угловая скорость якоря ω , ток в якорной цепи I и ЭДС тиристорного преобразователя E . Эти величины приводились к безразмерному виду путем деления на соответствующие им номинальные параметры. В результате была получена стандартная математическая модель объекта в пространстве состояний с указанными неопределенностями. В общепринятой матричной форме она имеет вид [2]:

$$\begin{bmatrix} A & B_1 & B_2 \\ C_1 & D_{11} & D_{12} \\ C_2 & D_{21} & D_{22} \end{bmatrix},$$

где

$$A = \begin{bmatrix} 0 & k_\omega I_n / \omega_n J & 0 \\ -k_\omega \omega_n / I_n L_э & -R / L_э & E_n / I_n L_э \\ 0 & 0 & -1 / T_n \end{bmatrix}; B_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -1 / L_э & 0 \\ U_n / E_n T_n & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; B_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ k_n U_n / E_n T_n \end{bmatrix};$$

$$C_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -k_\omega \omega_n / I_n L_э & -R / L_э & E_n / I_n L_э \\ 0 & R & 0 \\ 0 & k_\omega I_n / \omega_n J & 0 \end{bmatrix}; D_{11} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 / L_э & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}; D_{12} = \begin{bmatrix} k_n \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$C_2 = [1 \ 0 \ 0]; D_{21} = [0 \ 0 \ 0 \ 0]; D_{22} = [0].$$

Для синтеза оптимально робастного регулятора использовалась расширенная система, содержащая математическую модель объекта и весовые функции [3]. Синтез проводился методом смешанной чувствительности с использованием известного из MATLAB пакета расширения Robust Control Toolbox. Отыскание модели оптимального стабилизирующего регулятора осуществлялось γ -итерациями при ограничении на норму выходного сигнала. По существу определялся оптимальный H_2 -регулятор. Его урезанная передаточная функция

$$W(s) = \frac{3,678 \cdot 10^5 s^4 + 1,591 \cdot 10^8 s^3 + 4,913 \cdot 10^9 s^2 + 1,404 \cdot 10^{11} s + 3,718 \cdot 10^{12}}{s^5 + 1,358 \cdot 10^4 s^4 + 4,583 \cdot 10^7 s^3 + 2,306 \cdot 10^{10} s^2 + 1,574 \cdot 10^{11} s + 3,823 \cdot 10^{11}}.$$

График переходного процесса безразмерной угловой скорости двигателя тиристорного электропривода с найденным регулятором представлен на рис. 2.

Как и следовало ожидать, использование робастного регулятора в системе тиристорного электропривода позволяет обеспечить стабильность частоты вращения дозирующего колеса пылепитателя.

Выводы. В рамках H_2 -теории робастного управления получена передаточная функция оптимального робастного регулятора, позволяющая стабилизировать частоту вращения тиристорного электропривода пылепитателя котла тепловой электростанции.

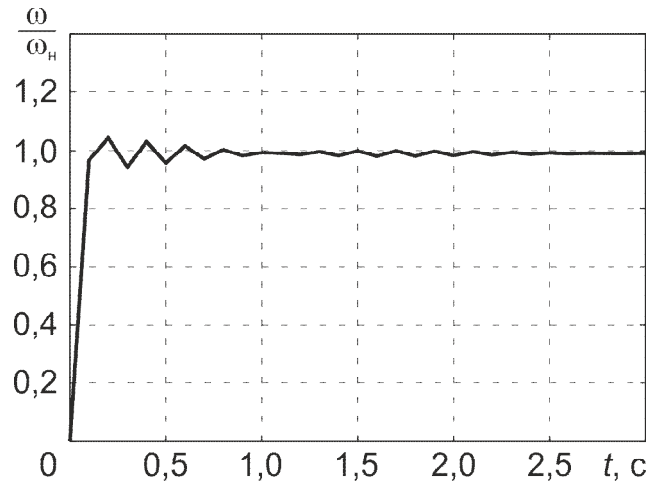


Рис.2. График переходного процесса безразмерной угловой скорости

Список использованных источников:

1. Хлопенко М.Я. Оптимальне керування об'єктами: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів [Текст] / М.Я. Хлопенко, І.С. Білюк, В.В. Шевченко. - Миколаїв: НУК, 2013. - 172 с.
2. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник [Текст] / Под ред. Н.Д. Егупова; издание 2-ое, стереотипное. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. - 744 с.
3. Richard Y. MATLAB: Robust Control Toolbox / Y. Richard, R. Chiang, G. Michael, M. Safonov // Robust Control Toolbox User's Guide. - 1998. - 230 p. - Режим доступа: <http://www.mathworks.com>.

СЕКЦІЯ 3. ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ І АПАРАТИ

УДК 621.314: 329.584

Авдеева О. А., канд. техн. наук, Ільчишин В. О.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

ВІРТУАЛЬНА ПРОЕКТНА МОДЕРНІЗАЦІЯ ТРАНСФОРМАТОРА ТСЗМ-40-74 ОМ5

Складовою електрообладнання лабораторної підстанції кафедри "Суднові електроенергетичні системи" НУК імені адмірала Макарова є трифазний трансформатор (ТТ) морського призначення ТСЗМ-40-74 ОМ5 (у подальшому ТТ-40) випуску 1982 року. Технічна характеристика ТТ-40 (рис. 1, а): Номінальна потужність $S_n = 40 \text{ кВ} \cdot \text{А}$; частота $f_1 = 50 \text{ Гц}$; Зміна напруги $\Delta U\% = 28\%$; коефіцієнт корисної дії (ККД) $\eta = 0,968$; маса 268 кг.

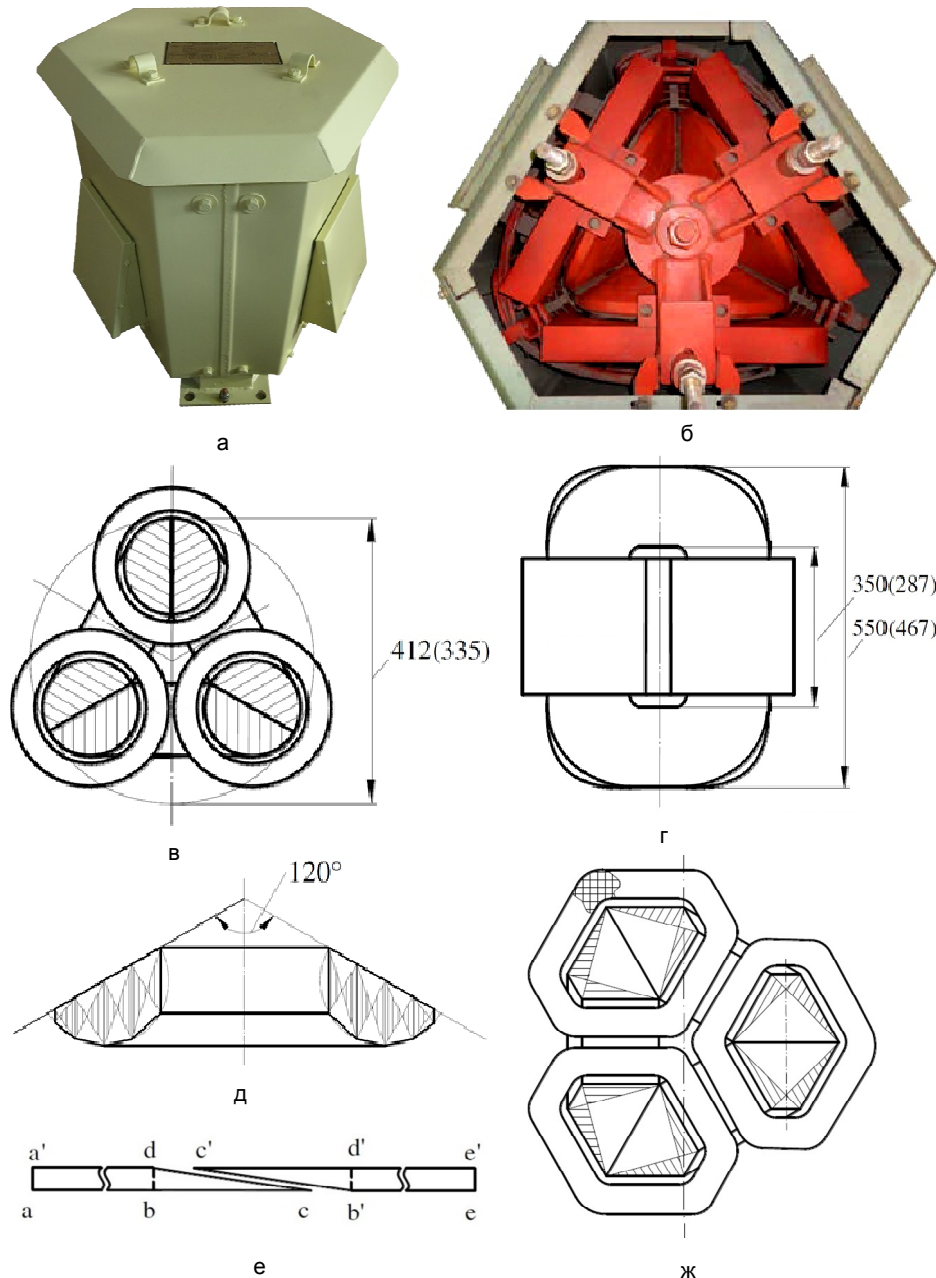


Рис. 1. Загальний вигляд (а), вигляд зверху зі знятою кришкою (б) трифазного трансформатора морського призначення ТСЗМ-40-74 ОМ5, варіанти конструктивної схеми і особливості електромагнітної системи з круговими (в, г, д) та шестикутними (е, ж) утворюючими контурами стрижнів та обмоткових вікон

Згідно [1] вказаний трансформатор відрізняється підвищеною компактністю і покращеними масогабаритними показниками та перебуває у виробництві і в теперішній час [2]. Конфігурація активної частини ТТ-40 відповідає рис.1,б та схемі (рис.1,в,г) і уявляє нероз'ємну (безстикову) симетричну електромагнітну систему

(ЕМС) з трьох витих секцій (рис.1,д) магнітопровода, круговими утворюючими контурами (Ук) та вмотаними обмотками. Інші відомості, крім інформації [1,2] зокрема креслення, обмоткові данні та електромагнітні навантаження (ЕМН) ТТ-40 є власністю розробника та у відкритому доступі відсутні. Виміряні (при частковому розбиранні) розміри (ММ) елементів ЕМС ТТ-40 наведено на рис.1,в,г. Нероз'ємна конструкція ЕМС схеми (рис.1,в,г) з витим анізотропним магнітопроводом знижує намагнічувальний струм та основні втрати в електротехнічній сталі (ЕТС). Однак вмотування обмоткових котушок на суміщені стрижневі частини окремих секцій значно знижує коефіцієнт заповнення обмоткового вікна K_{30} провідниковим матеріалом та негативно впливає на габарити і матеріаломісткість ТТ. В трансформаторах і реакторах з роз'ємними (шихтованими або стиковими) магнітопроводами величина K_{30} залежить виключно від класу напруги. Перспективним напрямом рішення задач нових розробок ТТ потужністю 25...630 кВ·А в [3] визначено створення просторових ЕМС з роз'ємними (стиковими) витими магнітопроводами, у яких досягається ремонтпридатність та максимальний ефект використання нових високопроникливих анізотропних і аморфних ЕТС[3].

Метою роботи є розрахункове дослідження впливу на масовартісні показники та ККД ТТ потужністю 40 кВ·А з витим трисекційним симетричним магнітопроводом заміни вмотаної конструкції ЕМС на стикову та заміни традиційних кругових Ук стрижнів та обмоткових котушок (рис.1, в) на нетрадиційні шестигранні Ук (рис.1.д).

Математичні моделі варіантів ТТ з симетричними просторовими ЕМС, що відрізняються круговими і шестиграними Ук та витими трисекційними магнітопроводами наведено в [4,5]. Згідно методу та керуванням змінним оптимізації, що використані при розробці цільових функцій оптимізації [4,5], а також по виміряним розмірам (рис.1,б,в) визначені розрахункові маса ЕМС і ККД ТТ - 40, які складають 182 кг та $\eta' = 0,973$. Отримані значення відповідають реальним показникам ТТ - 40, що свідчить про адекватність використаної методики. Заміна вмотаної конструкції ЕМС ТТ на стикову підвищує, при $U_{1(2)} \leq 1000$ В, K_{30} до значення $K'_{30} = 0,3$. За методикою [4,5] та на умовах електромагнітної еквівалентності розраховані геометричні співвідношення та показники варіантів аналога ТТ - 40 зі стиковим магнітопроводом та круговими (рис.1.в) і шестиграними (рис.1.ж) Ук. Вказані аналоги оптимізовані за критерієм мінімуму маси. За результатами розрахунків встановлено зменшення розмірів стикової ЕМС з круговими Ук до значень, що вказані на рис.1.б,в дужках, при зменшенні маси до 154 кг та підвищенні ККД до $\eta'' = 0,976$. Покращення масовартісних показників та ККД складає відповідно (17...23)%, 15,4 % і 0,3 %. Також встановлено, що заміна кругових Ук (рис.1.б) на шестигранні при незначних покращенні ККД та зменшенні маси, дозволяє додатково знизити габаритні розміри ЕМС на 15...20%.

Список використаних джерел:

1. Трансформаторы серии ОСМ, ОСВМ, ОСВМС, ОСЗМ, ОСЗМВ,ТСЗМ и ТСЗМВ (мощностью от 0,063 до 100 кВ·А). Техническое описание и инструкция по Эксплуатации ОБТ. 140.240. – М. : Информэлектро, зак. 1205 – 12с.
2. Матеріали інформаційного сайту ОАО Электрозавод [Електронний ресурс].- Режим доступа : <http://www.elektrozavod.ru/sites/default/files/pzoduction/catalog/pdf/additional/pk-5-8.pdf>.
3. 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 (13.09.2004).
4. Авдеева Е. А. Массоэкономные показатели пространственных аксиальных трехфазных электромагнитных систем с круговыми и шестигранными образующими контурами стержней витых магнитопроводов / Е. А. Авдеева, Р. А. Ставинский // Електротехніка і електромеханіка. - 2014. - № 1. - С. 15-20.
5. Авдеева Е. А. Потери активной мощности в трехфазных трансформаторах с круговыми и шестигранными образующими контурами стержней витых пространственных магнитопроводов / Е. А. Авдеева, Р. А. Ставинский // Електротехніка і електромеханіка. - 2014. - № 2. - С. 14-18.

УДК 621.314

Мазоловський В. П.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ УТИЛІЗАЦІЙНИХ ПАРОВИХ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ НА НИЗЬКОКИПЛЯЧИХ РОБОЧИХ ТІЛАХ У СКЛАДІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНИХ АГРЕГАТІВ

Сучасні суднові дизель-генераторні агрегати характеризуються автономністю, компактністю, швидкістю запуску (приблизно 30 с), простотою технічного використання, високим ККД (30-40%) і є основним типом двигунів у складі генераторних агрегатів на промислових судах. Зовнішній тепловий баланс дизель-генераторів представлений у таблиці 1, де: Q_e – відносна теплота, еквівалентна ефективній роботі; $Q_{вг}$ – відносна теплота, яка уноситься відпрацьованими газами; $Q_{охл}$ – відносна теплота, що відводиться від

двигуна охолоджуючою рідиною; Q_m – відносна теплота, що відводиться з мастилом; Q_{nv} – невраховані втрати теплоти.

Таблиця 1 – Зовнішній тепловий баланс суднових дизель-генераторних агрегатів

Середній ефективний тиск суднових дизелів, p_e , МПа	Складові теплового балансу, %				
	Q_e	Q_{vg}	$Q_{охл}$	Q_m	Q_{nv}
Без наддува, $p_e = 0,55-0,6$	29-42	25-40	20-35	2-5	2-7
З помірним наддувом, $p_e = 0,7-1,2$	35-42	25-45	10-25	2-5	2-7
З підвищеним наддувом, $p_e = 1,3-2,0$	40-52	15-35	10-18	2-5	2-5

Для підвищення енергетичної ефективності суднових дизель-генераторів було розглянуто можливість використання теплоти води, що охолоджує двигун внутрішнього згоряння, з метою додаткової генерації електроенергії у парових утилізаційних турбогенераторних установках, які працюють на низькокиплячих робочих тілах.

Принцип дії таких паротурбінних генераторних установок полягає у наступному. На рисунку 1, а насос нагнітає робоче тіло в рідкому стані в нагрівач, де при високому тиску воно випаровується, далі пар потрапляє в турбіну, в якій, розширюючись, здійснює роботу. Вал турбіни обертається і пускає в хід електрогенератор. Відпрацьований пар охолоджується, і робоче тіло конденсується. Далі речовина в рідкому стані потрапляє в насос і цикл замикається. На рисунку 1, б робоче тіло на виході з турбіни потрапляє в регенератор, де віддає частину теплової енергії стислій рідині, яка спрямовується в нагрівач. Теплова енергія може переноситися від джерела теплоти до робочого тіла з використанням проміжного теплоносія, в якості якого зазвичай застосовується термальне масло. Використання проміжного теплоносія дозволяє уникнути локального перегріву робочого тіла.

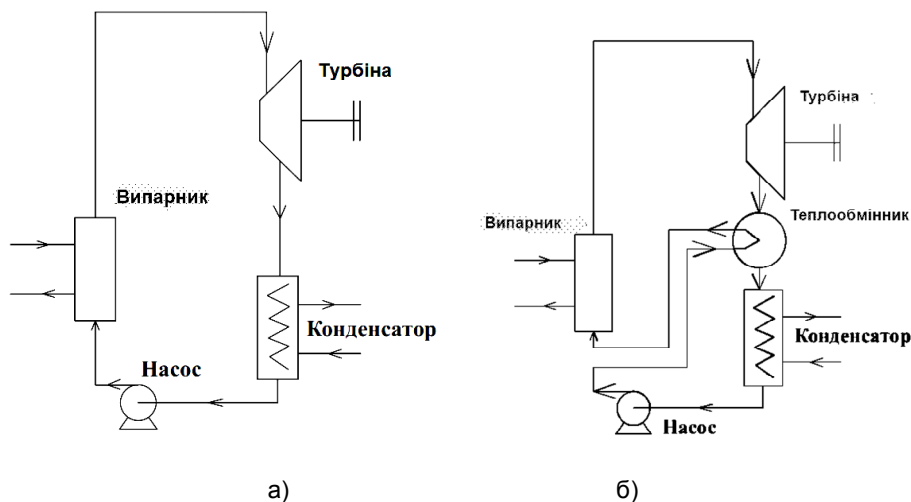


Рис. 1. Схема органічного циклу Ренкіна: а) з регенератором; б) без регенератора

Енергетичні характеристики таких установок фірми "Capstone", представлені на рисунку 2.

Таким чином застосування таких установок в експлуатаційних умовах з судновими дизель-генераторами дають змогу підвищити комплексний ККД генераторної системи приблизно на 3-5 % представлені на рисунку 2.

Список використаних джерел:

1. Агафонов А.Н. Комбинированные энергоустановки объектов малой энергетики / А.Н. Агафонов, В.О. Сайданов, В.Н. Гудзь – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2005. – 262 с.
2. Батялов А.А. Утилизация теплоты, как один из источников роста коэффициента использования теплоты на судне / А.А. Батялов, Ю.В. Варечкин // Вестник волжской государственной академии водного транспорта. Издательство: Волжская государственная академия водного транспорта (Нижний Новгород), 2005. – с 21-23.

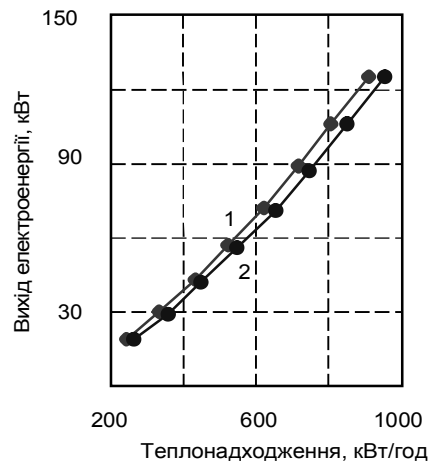


Рис. 2. Залежність електроенергії, яка виробляється від тепло надходження при постійних температурах конденсації: 1 – 20 °C; 2 – 33 °C

УДК 621.313

Моргул В. І.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ЗМІНОЮ ПІДМАГНІЧУВАННЯ МАГНІТОПРОВОДУ РЕАКТОРА

Асинхронний генератор можна класифікувати за способом збудження, характером вихідної частоти (змінюється, постійна), способом стабілізації напруги, робочими областями ковзання, конструктивним виконанням і числом фаз. Характер вихідної частоти і методи стабілізації напруги в значній мірі обумовлені способом утворення магнітного потоку.

Асинхронні генератори не вимагають в конструкції складних вузлів для організації збудження або застосування дорогих матеріалів з великим запасом магнітної енергії, тому знаходять широке застосування у користувачів пересувних електроустановок через свою простоту і невибагливість в обслуговуванні. Вони використовуються для живлення пристроїв, що не вимагають жорсткої прив'язки до частоти струму. Технічною перевагою асинхронних генераторів можна визнати їх простоту в обслуговуванні, малу чутливість до короткого замикання і невисоку вартість.

До недоліків можна віднести те, що асинхронний генератор не переносить пікових навантажень та завжди споживає намагнічуючий струм значної сили, тому для його роботи необхідне джерело реактивної потужності (конденсатори), яке залежить від активно-індуктивного характеру навантаження. Також треба відмітити ненадійність роботи в екстремальних умовах і те, що збудження асинхронного генератора залежить від випадкових чинників і відбувається, як правило, при швидкості, яка перевищує, або дорівнює синхронній [1].

У синхронному генераторі ротор виконаний у вигляді електромагніту, що збуджується обмоткою постійного струму. Перевагою таких генераторів є висока стабільність вихідної напруги, більш висока якість електроенергії, а також здатність переносити 3-кратні миттєві перевантаження. У потужних електростанціях встановлюються тільки синхронні генератори. Недоліком синхронного генератора є наявність на роторі обмотки збудження, щіткового механізму для підведення енергії до неї та додаткового джерела постійного струму. Такі конструктивні відмінності зменшують ККД та надійність роботи генераторної установки.

При оцінці загальних показників автономного асинхронного генератора, необхідно враховувати суттєві зміни напруги, а також такі експлуатаційні фактори, як зміна частоти генерованої напруги (яка варіює зі зміною навантаження і ковзання, якщо частота обертання ротора підтримується постійною), а також коливання вихідної напруги U , що з'являються внаслідок електричної і магнітної несиметрії ротора.

Пульсації напруги, обумовлені електричною несиметрією, зростають при збільшенні навантаження і можуть бути зведені до мінімуму при якісній заливці короткозамкнутою клітини і вибракуванні роторів з дефектами обмотки.

Магнітна несиметричність, пов'язана з можливою овальністю пакетів ротора і статора, ексцентриситетом, магнітною анізотропією сердечників, призводить до періодичних змін магнітного опору на шляху основного магнітного потоку ротора і, як наслідок, до коливань вихідної напруги. Усунення овальності і віялова збірка пакета ротора практично повністю виключають цю причину коливань напруги.

При оцінці техніко-економічних показників автономного асинхронного генератора враховується також необхідність в конденсаторній батареї, як джерела реактивної потужності для створення магнітного поля і компенсації реактивності навантаження.

В даний час практичне застосування знаходять конденсатори типу К-71 з поліпшеними масо-габаритними показниками, що мають питому масу $0,3 \dots 0,6 \text{ кг / кВА}$. Якщо врахувати, що $\cos \varphi$ автономного асинхронного генератора малої і середньої потужності не перевищує $0,7 \dots 0,75$, то на 1 кВт його активної потужності може припадати приблизно 1 кВА реактивної потужності конденсаторної батареї. Однак величина необхідної ємності залежить також і від частоти f .

В якості основних засобів регулювання напруги асинхронного генератора можна виділити наступні [1, 2]:

- 1) зміна ємності конденсаторів, підключених до обмоток статора або фазного ротора;
- 2) застосування керованих реакторів або нелінійних конденсаторів;
- 3) зміна напруги на конденсаторах;
- 4) підмагнічуванням сердечника статора.

При цьому у всіх випадках або за рахунок зміни кута нахилу вольтамперної характеристики ланцюга збудження, або за рахунок зміни насичення магнітного кола змінюється положення робочої точки, тобто регулюється напруга холостого ходу, а також, і робоча напруга асинхронного генератора.

На основі проведеного аналізу пропонується регулювання напруги шляхом підключення паралельно конденсаторній батареї керованого підмагнічуванням реактора. На рис.1 представлена принципова електрична схема регулювання напруги асинхронного генератора АГ шляхом зміни індуктивного опору реактора 2, що підключений паралельно до конденсаторної батареї 1. Нелінійний вимірювальний елемент 5 включається в ланцюг обмотки підмагнічування. Він збільшує чутливість пристрою до відхилень напруги на затискачах генератора від номінального. Якщо, наприклад, напруга дещо зменшилася, то напруга реактора 5 також зменшиться, а його індуктивний опір зросте. Струм управління обмотки підмагнічування обмежується тепер з двох причин: внаслідок зниження напруги і збільшення опору кола обмотки. Насичення сердечників реактора 2 зменшується в більшій мірі, ніж без нелінійного елемента 5, що призводить до відповідного зростання ємнісного струму на виході пристрою.

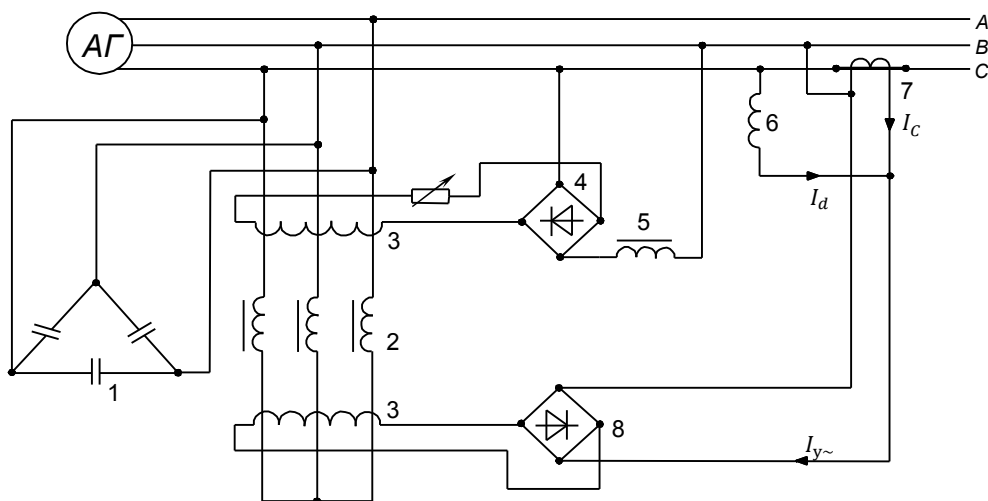


Рис. 1. Схема асинхронного генератора з керованим реактором і фазочутливим вимірювальним приладом: 1 - статичні конденсатори; 2 - обмотки змінного струму реактора; 3 - обмотки управління; 4, 8 - випрямлячі; 5 - нелінійний вимірювальний елемент; 6 - лінійний реактор; 7 - трансформатор струму

Таким же чином, з перевищенням напруги над номінальним, збільшення струму управління обмотки підмагнічування викликає не тільки збільшення напруги, но і зменшення опору ланцюга обмотки внаслідок насичення реактора 5.

Фазочутливий прилад виконаний у вигляді поєднання лінійного реактора 6 і трансформатора струму 7. Він реагує на зміну значення і характеру струму навантаження.

Перевага цієї схеми на відміну від інших в тому, що має здатність реагувати на зміну характеру навантаження при більш високій чутливості по напрузі. Зауважимо, що спільними недоліками схем асинхронного генератора з керованими реакторами є значна маса і відносно великі габарити реакторів.

Список використаних джерел:

1. Бут Д.А. Бесконтактные электрические машины: Учеб. пособие для электромех. и электроэнерг. спец. вузов. / Д.А. Бут. – М.: Высш. шк., 1990. – 416 с.

2. Балагуров В.А. Проектирование специальных электрических машин переменного тока: Учебное пособие для студентов вузов. / В.А. Балагуров. – М.: Высш. шк., 1982. – 272 с.

УДК 621.313

Новогрещий С. Н., канд. техн. наук, доцент, Прудников А. А.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

ГАРМОНИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТОКА ОСНОВНОЙ ОБМОТКИ ТРЕХФАЗНОГО РЕАКТОРА ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ПОДМАГНИЧИВАНИИ МАГНИТОПРОВОДА

Постановка проблемы. В энергосистемах находят применения шунтирующие реакторы для компенсации зарядной мощности линий, реакторы в составе фильтров для подавления высших гармоник, реакторы для регулирования емкостной мощности конденсаторных батарей с целью емкостного возбуждения и стабилизации напряжения асинхронных генераторов. При изменении режимов работы и конфигурации энергосистемы соответствующим образом должны меняться и индуктивные сопротивления реакторов.

Известными способами регулирования реактора является продольное или поперечное подмагничивание его магнитной системой, что приводит к уменьшению магнитной проницаемости и, как следствие, к уменьшению индуктивного сопротивления [1, 2]. Для осуществления продольного подмагничивания стержень магнитопровода реактора делится на две равные секции, которые подмагничиваются постоянным током в противоположных направлениях, что исключает наличие в суммарной намагничивающей силе обмотки переменного тока четных гармоник [2]. Подобное конструктивное решение значительно увеличивает массу активных материалов, а наличие прямой индуктивной связи между основной обмоткой и обмотками управления приводит к повышению инерционности регулирования. Улучшение массогабаритных показателей и повышение скорости регулирования можно достичь путем поперечного подмагничивания магнитопровода. Известны конструкции трехфазных индукционных статических преобразователей и аппаратов с аксиальными симметричными магнитопроводами, в которых осуществляется поперечное подмагничивание стержней [1, 3]. Для уменьшения массогабаритных показателей предложено стержни конструктивно разделять на две симметричные секции с отверстиями для установки обмотки подмагничивания. Дальнейшее снижение материалоемкости обмоток и электромагнитной системы индукционного преобразователя возможно заменой подмагничивания стержней на поперечное подмагничивание ярем.

При подмагничивании магнитопровода реактора процентное содержание высших нечетных гармоник в токе рабочей обмотки изменяется в зависимости от степени насыщения магнитопровода и может значительно превышать допустимые значения. Компенсацию высших нечетных гармоник можно осуществить путем параллельного подключения двух реакторов, основные обмотки которых имеют соединение либо треугольника и звезды, либо правого и левого зигзага с углом сдвига в 15° . В результате 5-я и 7-я гармоники токов обеих обмоток находятся в противофазе и отсутствуют в токе, потребляемом из сети [2, 4]. Однако данное техническое решение требует наличия двух независимых магнитных систем и, как следствие, приводит к повышению массогабаритных показателей. Более эффективным способом компенсации высших гармоник является поперечное подмагничивание переменным магнитным полем, при котором результирующая магнитная индукция в подмагничиваемом участке магнитопровода в любой момент времени остается неизменной по величине [1]. В этом случае магнитное сопротивление подмагничиваемого участка становится линейным, способствует линеаризации зависимости магнитодвижущей силы от магнитного потока и обеспечивает резкое снижение процентного содержания высших гармоник в токе рабочей обмотки.

Целью работы является анализ гармонического состава тока основной обмотки трехфазного реактора с радиальным симметричным магнитопроводом при подмагничивании ярма поперечным переменным магнитным полем.

Материалы и результаты исследований. Конструкция предлагаемого реактора с радиальным симметричным магнитопроводом и поперечным подмагничиванием ярма представлена на рисунке 1, а.

Магнитопровод реактора состоит из трех витых секций 1, которые при совмещении образуют радиальную симметричную конструкцию. Фазы основной трехфазной обмотки 2 охватывают смежные участки - стержни витого магнитопровода. Обмотка подмагничивания 3 располагается на индукторе 4, который, имея вид скобы, охватывает внешнюю часть магнитопровода и замыкает магнитный поток подмагничивания в поперечном направлении по отношению к магнитному потоку основной обмотки.

Анализ работы реактора (рис.1, а) выполняется по упрощенной схеме замещения магнитной цепи (рис. 1, б).

На рис.1, б следующие обозначения: R_δ – магнитное сопротивление стыкового зазора в секции магнитопровода; R_n и $R_{\bar{n}}$ – магнитное сопротивление подмагничиваемой и неподмагничиваемой части магнитопровода; F_a, F_b, F_c – намагничивающие силы фазных обмоток реактора; Φ_1, Φ_2, Φ_3 – магнитные потоки секций магнитопровода.

Представленной схеме замещения соответствует система уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \Phi_1 (R_H + R_n + R_\delta) &= F_a - F_b = F_1; \\ \Phi_2 (R_H + R_n + R_\delta) &= F_b - F_c = F_2; \\ \Phi_3 (R_H + R_n + R_\delta) &= F_c - F_a = F_3. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Положим, что обмотки переменного тока реактора создают синусоидальные магнитные потоки:

$$\left. \begin{aligned} \Phi_A &= \Phi_m \sin(\omega t) = \Phi_1 - \Phi_3; \\ \Phi_B &= \Phi_m \sin(\omega t - \pi/3) = \Phi_2 - \Phi_1; \\ \Phi_C &= \Phi_m \sin(\omega t - 2\pi/3) = \Phi_3 - \Phi_2. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

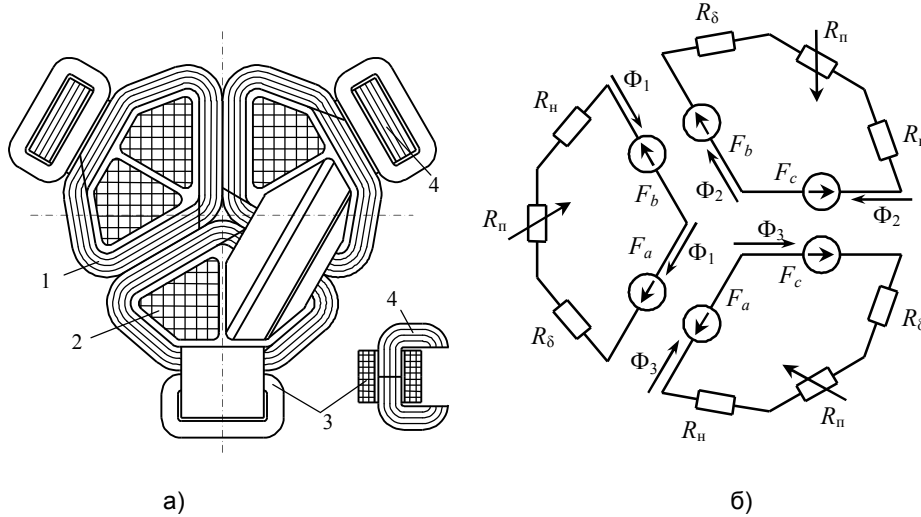


Рис. 1. Трехфазный реактор с поперечным подмагничиванием: а) конструкция; б) схема замещения магнитной цепи

В этом случае, в соответствии с системами уравнений (1) и (2), при насыщении магнитной цепи возникают нечетные гармоники, за исключением кратных трем, в намагничивающих силах F_1, F_2, F_3 , а также нечетные гармоники кратные трем в магнитных потоках секций Φ_1, Φ_2, Φ_3 .

Уравнение связи между магнитным потоком и намагничивающей силой для одной секции магнитопровода можно записать следующим образом:

$$F_1(t) = \Phi_1(t)(R_H + R_n + R_\delta) = B(t) l \left(\frac{l_H/l}{\mu_H(B(t))} + \frac{l_n/l}{\mu_n(B(t), B_{\text{подм}})} + \frac{l_\delta/l}{\mu_0} \right); \quad (4)$$

$$F_{\text{уд}}(t) = B(t) \left(\frac{l_H/l}{\mu_H(B(t))} + \frac{l_n/l}{\mu_n(B(t), B_{\text{подм}})} + \frac{l_\delta/l}{\mu_0} \right); \quad (5)$$

$$F_{\text{уд}}(t) = \frac{F_1(t)}{l}; \quad B(t) = \frac{\Phi_1(t)}{S},$$

где l и S – длина и площадь поперечного сечения секции магнитопровода; l_H, l_n и l_δ – длины неподмагничиваемого и подмагничиваемого участков секции, а также величина стыкового зазора; μ_H и μ_n – значение магнитной проницаемости неподмагниченной и подмагниченной частей секции; $B(t)$ – значение индукции в магнитопроводе; $B_{\text{подм}}$ – магнитная индукция поперечного поля подмагничивания; $F_{\text{уд}}(t)$ – удельное значение намагничивающей силы на единицу длины.

При использовании изотропной стали магнитные проницаемости μ_H и μ_n определяются по основной кривой намагничивания [1]:

$$\mu_H(B(t)) = \frac{B(t)}{H(B(t))}; \quad \mu_n(B(t), B_{\text{подм}}) = \frac{\sqrt{B(t)^2 + B_{\text{подм}}^2}}{H(\sqrt{B(t)^2 + B_{\text{подм}}^2})},$$

где $H(B)$ – напряженность магнитного поля, определенная по основной кривой намагничивания.

Разработана программа, которая по амплитуде B_{m1} первой гармоники $B(t)$ итерационным методом подбирает значения амплитуд третьей B_{m3} и девятой B_{m9} гармоник, при которых в намагничивающей силе $F_{\text{уд}}(t)$ такие составляющие отсутствуют. Расчет гармоник осуществляется по дискретному преобразованию Фурье при количестве расчетных точек на период 200. В расчетах использовались характеристики холоднокатаной

изотропной стали марки 2412, основная кривая намагничивания которой была задана с помощью линейной интерполяции по табличным данным.

В таблице 1 представлены результаты расчетов при поперечном подмагничивании постоянным током. Амплитуды пятой F_{m5} и седьмой F_{m7} гармоник намагничивающей силы $F_{yd}(t)$ представлены в процентах по отношению к амплитуде первой гармоники F_{m1} . Аналогично представлена третья гармоника B_{m3} магнитной индукции $B(t)$ в процентах по отношению к B_{m1} . В соответствии с полученными данными при подмагничивании постоянным полем в токе основной обмотки пятая гармоника может достигать 20 %, а седьмая гармоника – 10 %.

Для устранения высших гармоник введем подмагничивание переменным током, при котором индукция поперечного магнитного поля будет определяться следующим выражением:

$$B_{\text{подм}}(t) = \sqrt{B_{\Sigma \text{max}}^2 - [B_{m1} \sin(\omega t)]^2}. \quad (6)$$

Таблица 1. Результаты расчетов при подмагничивании постоянным током

Исходные данные			$I_H/I = 0,8; I_H/I = 0,2; I_S/I = 10^{-5}$			
$B_{\text{подм}},$ Тл	$B_{m1},$ Тл	$B_{\Sigma \text{max}},$ Тл	$B_{m3},$ %	$F_{m1},$ А/см	$F_{m5},$ %	$F_{m7},$ %
0	1,4	1,4	6,3	15,1	0,72	0
1	1,4	1,72	13,0	20,2	4,75	2,1
1,4	1,4	1,98	14,7	39,4	10,3	0,47
1,6	1,4	2,12	17,2	78,6	21,5	9,7
1,8	1,4	2,28	18,6	245,3	20,4	2,4

В этом случае результирующая магнитная индукция в подмагничиваемом участке с течением времени, меняя свое направление, не изменяется по величине, равной $B_{\Sigma \text{max}}$. Из полученных результатов, представленных в таблице 2, можно сделать вывод, что при регулировании магнитной индукции поперечного поля по формуле (6) удастся значительно уменьшить амплитуды высших гармоник. Кроме того, подобное регулирование полностью исключает параметрическую индуктивную связь между обмоткой управления и основной обмоткой. К недостаткам подобного регулирования можно отнести сложность его реализации из-за присутствия в (6) квадратного корня.

Таблица 2. Результаты расчетов при поддержании результирующей магнитной индукции в подмагничиваемом участке постоянной

Исходные данные		$I_H/I = 0,8; I_H/I = 0,2; I_S/I = 10^{-5}$			
$B_{m1},$ Тл	$B_{\Sigma \text{max}},$ Тл	$B_{m3},$ %	$F_{m1},$ А/см	$F_{m5},$ %	$F_{m7},$ %
1,4	1,4	3,3	16,8	1	1
1,4	1,72	1,46	32,4	0,5	0,61
1,4	1,98	0,24	73,7	0,1	0,4
1,4	2,12	0,17	240,5	0,07	0,1
1,4	2,28	0,16	396	0,07	0,06

Указанный недостаток можно устранить путем упрощения закона регулирования, представив (6) в виде суммы двух первых членов разложения в ряд Фурье:

$$B_{\text{подм}}(t, B_{\Sigma \text{max}}) = B_0(B_{\Sigma \text{max}}) + B_2(B_{\Sigma \text{max}}) \cos(2 \omega t); \quad (7)$$

$$B_0(B_{\Sigma \text{max}}) = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sqrt{B_{\Sigma \text{max}}^2 - [B_{m1} \sin(\varphi)]^2} d\varphi; \quad (8)$$

$$B_2(B_{\Sigma \text{max}}) = \frac{2}{\pi} \int_0^\pi \cos(2 \varphi) \sqrt{B_{\Sigma \text{max}}^2 - [B_{m1} \sin(\varphi)]^2} d\varphi. \quad (9)$$

В соответствии с результатами расчета, представленными в таблице 3, регулирование магнитной индукции поперечного поля в соответствии с формулой (7) несущественно ухудшает процентное содержание высших гармоник в токе основной обмотки. В то же время, при заданных значениях B_0 и B_2 закон регулирования достаточно просто реализуется при помощи микроконтроллерной техники.

Таблица 3. Результаты расчетов при регулировании поперечного магнитного поля по упрощенному закону

Исходные данные				$I_n/I = 0,8; I_n/I = 0,2; I_b/I = 10^{-5}$			
B_{m1} , Тл	$B_{\Sigma max}$, Тл	B_0 , Тл	B_2 , Тл	B_{m3} , %	F_{m1} , А/см	F_{m5} , %	F_{m7} , %
1,4	1,4	0,89	0,594	4,03	16,4	3,41	0,22
1,4	1,72	1,38	0,358	2,17	32,0	2,13	0,52
1,4	1,98	1,7	0,289	0,99	72	4,32	0,02
1,4	2,12	1,87	0,264	0,69	232,9	1,38	0,09
1,4	2,28	2,05	0,24	0,48	395	0,67	0,06

Выводы. 1. Предложенная конструкция трехфазного реактора с поперечным подмагничиванием позволяет получить регулирование индуктивности в широком диапазоне. 2. Для устранения высших гармоник в токе основной обмотки результирующая магнитная индукция в подмагничиваемом участке магнитопровода не должна меняться по величине с течением времени. 3. Предложен упрощенный закон регулирования магнитной индукции поперечного поля подмагничивания, который достаточно легко реализуется и обеспечивает содержание высших гармоник в токе основной обмотки на приемлемом уровне. 4. При предложенном регулировании в магнитном потоке секций магнитопровода значительно ослабляются гармоники, кратные трем, что уменьшает активные потери в магнитопроводе и улучшает энергетические показатели реактора.

Список использованных источников:

1. Дорожко Л.И. Реакторы с поперечным подмагничиванием. / Л.И. Дорожко, М.С. Либкинд. – М.: Энергия, 1977. – 176 с.
2. Управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы / М. В. Дмитриев, А. С. Карпов, Е. Б. Шескин, А. Г. Долгополов, Д. В. Кондратенко; / Под ред. Г. А. Евдокунина. – СПб.: Родная Ладога, 2013. – 280 с.
3. Деклараційний патент на винахід України № 70866. Електромагнітна система з регулюванням підмагнічуванням./ Ставинський А.А.; Коновалов О.П.; Плахтир О.О.; Кімстач О.Ю.; Ставинський Р.А. – заявл. 30.12.2003; опубл. 15.10.2004, Бюл. №10. – 3с.
4. А. с. СССР № 828231. Трехфазный управляемый реактор. / Теллинен И.И., Калда Х.Х., Ярвик Я.Я. – заявл. 23.05.79; опубл. 07.05.81, Бюл. №17. – 4с.

УДК 621.313.333

Пальчиков О. О.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

СНИЖЕНИЕ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАГНИТОПРОВОДОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Современная технология производства цилиндрических магнитопроводов асинхронных двигателей (АД) с классической конструкцией (АДК), состоящих из набора штампованных концентрических пластин с вырубленными пазовыми выемками и отверстием под вал, характеризуется значительным объемом заготовительной электротехнической стали (ЭТС) [1]. Улучшение использования ЭТС при учете массовости выпуска АД позволит уменьшить конечную стоимость единичного АД и получить значительный экономический эффект в целом. Решение задачи снижения отходов ЭТС возможно на основе оптимизации раскроя ЭТС [1, 2] (применение многорядной «разделки» ленты, использование отрицательных перемычек и фигурной штамповки) при сохранении традиционной технологии изготовления магнитопровода или на основе безотходных и малоотходных технологий [2, 3]. Витые и стыково-витые цилиндрические магнитопроводы характеризуются значительной экономией ЭТС до 20 % относительно традиционной технологии, главным образом, за счет практического исключения наружных отходов ЭТС управляемой деформацией соответственно плоской ленты с допустимой расшивкой зубцов и ленты ярем [2]. Практическую безотходность и снижение трудоемкости обеспечивают цельнопрессованные и литые магнитопроводы. АДК с такими магнитопроводами отличаются ухудшенными энергетическими характеристиками относительно аналогичных АДК с традиционными магнитопроводами, а также наличием специализированного парка оборудования, противоречащего технологической приемственности, что приводит к значительным дополнительным капиталовложениям [1, 3]. Примеры совершенствования конструкции и технологического производства АДК на основе системного подхода, теории симметрии и структурного преобразования электромагнитных систем (ЭМС) приведены в [3].

Полное рассмотрение проблемы снижения отходов и рационального использования ЭТС при производстве магнитопроводов АД не возможно без анализа ресурса технологии изготовления специальных АД в дополнение к АДК.

Цель работы – на основе метода полных целевых функций с безразмерными показателями технического уровня определить и сравнить показатели стоимости ЭМС АДК, АД с внешним ротором (АДВР) и торцевых АД (ТАД) с учетом отходов ЭТС, а также на основе указанного метода оценить перспективы решения проблемы использования ЭТС внедрением в производство специальных АД.

Коэффициент использования ЭТС [1]:

$$K_{испК(В)} = K_{испВК(В)} + K_{испНК(В)}; \quad (1)$$

$$K_{испТ} = K_{испВТ} + K_{испНТ}, \quad (2)$$

где $K_{испВК(В)}$ и $K_{испВТ}$ – коэффициенты внутренних отходов ЭТС АДК (АДВР) и ТАД:

$$K_{испВК(В)} = 1 - (S_{М1К(В)} + S_{М2К(В)})/S_{М3ш}; K_{испВТ} = 1 - (V_{МТ} - V_{ПТ})/V_{МТ},$$

где $S_{М1К(В)}$ и $S_{М2К(В)}$ – поперечные сечения магнитопроводов статора и ротора АДК (АДВР); $S_{М3ш}$ – сечение заготовки для штамповки пазов и отверстия вала радиальных ЭМС; $V_{МТ}$ и $V_{ПТ}$ – объем заготовительной ЭТС для магнитопровода ТАД и объем, занятый пазами под обмотки ТАД; $K_{испНК(В)}$ – коэффициент наружных отходов ЭТС АДК (АДВР), согласно [1] принимается равным 0,2; $K_{испНТ}$ – коэффициент наружных отходов ТАД при витом магнитопроводе принимается равным нулю [2].

Оптимальные показатели стоимости ЭМС АДК, АДВР и ТАД, рассчитанные на основе математических моделей показателей технического уровня с относительными геометрическими управляемыми переменными [4, 5] (для радиальных ЭМС – традиционная относительная длина $\lambda_{5К(В)}$ и безразмерный параметр диаметра активной поверхности статора $a_{МК(В)}$, а для аксиальных ЭМС – соотношение наружного и внутреннего диаметров магнитопровода ξ_T и безразмерный параметр среднего диаметра магнитопровода $a_{МТ}$) с учетом коэффициента использования ЭТС (1), (2) для средних значений электромагнитных нагрузок в зависимости от числа пар полюсов приведены в табл. 1.

Адекватность математической модели подтверждается коэффициентом АДК $K_{испК} = 0,4...0,6$ близким к реальному значению [1, 2]. Учет отходов ЭТС в показателе стоимости АДВР улучшает выигрыш на 1,7...2,3 % до 7,2...10,9 % относительно аналогичного АДК. За счет витого магнитопровода стоимость ЭМС ТАД с учетом отходов ЭТС улучшается на 1,4...28,8 % относительно аналога.

Результаты исследования специальных АД относительно АДК на основе математических моделей показателей активных потерь [6, 7], приведенные в табл. 2, показали значительное улучшение энергоэффективности. Указанное обстоятельство позволяет применить пресованные технологии изготовления магнитопровода специальных АД из отходов электротехнической стали получаемых при производстве единых серий АДК без значительного увеличения тока статора.

Таблица 1. Экстремальные показатели стоимости с учетом отходов электротехнической стали асинхронных двигателей с внутренним, внешним и торцевым роторами

p	$K_{испК}$ б.е.	$\lambda_{5К}$ б.е.	$a_{МК}$ б.е.	$P_{СКЭ}$ б.е.	$K_{испВ}$ б.е.	$\lambda_{5В}$ б.е.	$a_{МВ}$ б.е.	$P_{СВЭ}$ б.е.	$K_{испТ}$ б.е.	ξ_T б.е.	$a_{МТ}$ б.е.	$P_{СТЭ}$ б.е.
	АДК				АДВР				ТАД			
1	0,578	1,45	5,80	38,148	0,643	0,75	19,25	35,468	0,886	2,85	22,635	37,641
2	0,486	0,95	8,85	28,521	0,561	0,60	24,05	25,330	0,789	2,35	43,942	24,877
3	0,484	0,65	12,93	26,258	0,557	0,40	36,08	23,239	0,754	2,0	49,423	21,513
4	0,441	0,55	15,29	24,205	0,515	0,35	41,23	21,088	0,682	1,75	76,967	18,256

Таблица 2. Числовые значения улучшения показателей активных потерь обращенных и торцевых асинхронных двигателей относительно двигателя классического исполнения

Соотношение показателей технического уровня	Число пар полюсов p			
	1	2	3	4
$1 - P_{ПВЭ}/P_{ПКЭ}$	+(20,4...26,4)	+(10,7...13,7)	+(8,0...11,0)	+(6,0...8,4)
$1 - P_{ПТЭ}/P_{ПКЭ}$	+(5,3...13,1)	+(11,5...16,8)	+(15,6...18,6)	+(17,0...18,9)

Выводы: в ряде случаев целесообразна замена АДК на специальные АД, которые обеспечивают лучшую конструктивную и параметрическую совместимость с приводным механизмом и отличаются более эффективным использованием ЭТС, пониженной материалоемкостью, экономичностью и повышенными энергетическими показателями; проблема отходов ЭТС может быть решена производством специальных АД с по-

рошковими магнітопроводами, ухудшення качества материала которых компенсируется сниженными активными потерями относительно эквивалентного АДК.

Список использованных источников:

1. Антонов, М.В. Технология производства электрических машин. Учеб. для вузов по специальности «Электромеханика» [Текст] / М.В. Антонов. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 592 с.
2. Яковлев, А.И. Электрические машины с уменьшенной материалоемкостью [Текст] / А.И. Яковлев. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.
3. Ставинский, А.А. Проблема снижения отходов электротехнической стали производства магнитопроводов и системный подход при разработке конструкций асинхронных двигателей [Текст] / А.А. Ставинский, О.О. Пальчиков, И.А. Тищенко, Н.И. Зеленый Н.И // Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю ПАЕТЗ-2011. – Миколаїв: НУК. – 2011. – С. 57 – 61.
4. Ставинский, А.А. Использование метода относительных коэффициентов показателей технического уровня в решении задач оптимизации асинхронных двигателей [Текст] / А.А. Ставинский, О.О. Пальчиков // Електротехніка і електромеханіка. – 2014. – № 5. – С. 37 – 44.
5. Ставинский, А.А. Сравнительный анализ массосстоимостных показателей асинхронных двигателей с цилиндрическим и аксиальным рабочим зазором [Текст] / А.А. Ставинский, О.О. Пальчиков // Електротехніка і електромеханіка. – 2015. – № 3. – С. 20 – 26.
6. Ставинский, А.А. Сравнительный анализ потерь активной мощности асинхронных двигателей с цилиндрическим и аксиальным рабочим зазором [Текст] / А.А. Ставинский, О.О. Пальчиков // Електротехніка і електромеханіка. – 2015. – № 5. – С. 31 – 35.
7. Ставинский, А.А. Целевые функции сравнительного анализа энергетической эффективности электромагнитных систем асинхронных двигателей с внутренними и внешними роторами [Текст] / А.А. Ставинский, О.О. Пальчиков // Електротехніка і електромеханіка. – 2015. – № 1. – С. 41–45.

УДК 621.316

Подымака В. И., канд. техн. наук, доцент

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

ДОСТОВЕРНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ И ПОВТОРЯЕМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Источником испытательного тока в устройствах проверки защиты (УПЗ) является силовой трансформатор. Подача тока к испытуемому автоматическому выключателю (АВ) достигается путем подключения силового трансформатора к сети с помощью управляемого коммутатора (рис. 1).

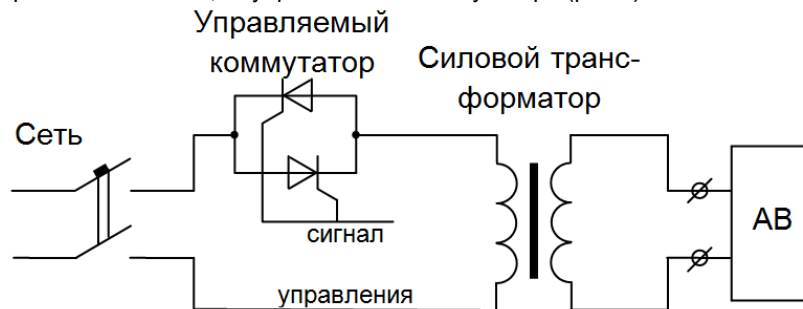


Рис. 1. Схема подачи тока к испытуемому АВ

Как известно из теории трансформаторов, подключение последнего к источнику питания в общем случае сопровождается переходным процессом [1]. При неблагоприятных условиях возникает бросок намагничивающего тока, величина которого может превышать свою установившуюся амплитуду в десятки раз. Это неизбежно приводит к искажению кривой ЭДС трансформатора, что в свою очередь отражается на переходном процессе во вторичном контуре трансформатора, где находится испытуемый АВ. К основным факторам, оказывающим непосредственное влияние на переходный процесс при подключении трансформатора, могут быть отнесены следующие:

- амплитуда и форма кривой питающего напряжения;
- его фаза в момент подключения;
- величина и направление остаточного магнитного потока в магнитопроводе трансформатора в момент подключения;
- величина и характер сопротивления нагрузки трансформатора.

К дополнительным факторам, влияющим на переходный процесс можно отнести:

- материал магнитопровода трансформатора и коэффициент прямоугольности его петли перемангничивания;
- сопротивление короткого замыкания трансформатора и коэффициент рассеяния магнитного потока;
- сопротивление намагничивающего контура.

Очевидно, для конкретного трансформатора повторяемость переходного процесса достигается в том случае, если остаются неизменными основные факторы.

Однако даже полная повторяемость переходного процесса в трансформаторе при подключении не является гарантией того, что мы измеряем действительный ток АВ при его срабатывании.

Последнее поясняется с помощью рис. 2, на котором представлена кривая изменения тока в цепи АВ во времени при некоторых определенных условиях включения.

Момент срабатывания АВ определяется не только величиной протекающего через него тока, но и инерционностью его подвижных частей, жесткостью пружины, а также временем срабатывания механизма задержки [2]. Другими словами, отключение может произойти в общем случае в момент времени t_1 , t_2 , t_3 или t_4 . Даже если допустить, что мы сразу получаем расшифрованную осциллограмму тока, у нас нет веских оснований утверждать, какой именно ток i_{m1} , i_{m2} , i_{m3} , i_{m4} или $i_{m\infty}$ действительно является током срабатывания выключателя. Такие основания появляются, если отключение АВ происходит заведомо позже затухания свободной составляющей тока.

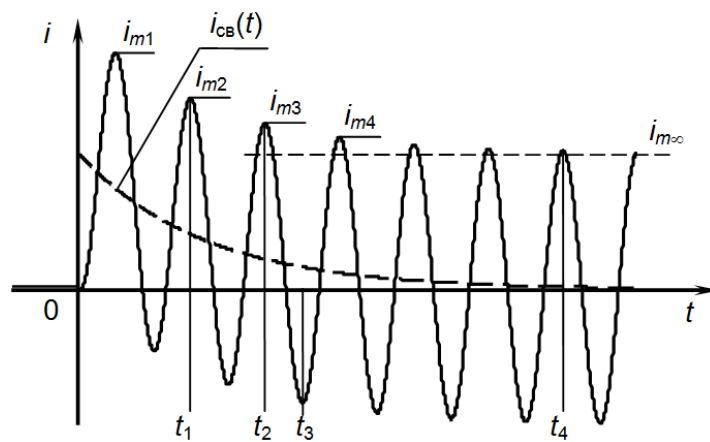


Рис. 2. Кривая изменения тока в цепи АВ при подключении.

Отсюда напрашивается вывод: с целью достоверности измерений и обеспечения повторяемости результатов при испытаниях автоматических выключателей с помощью УПЗ включение силового трансформатора должно быть организовано таким образом, чтобы свободная составляющая тока $i_{cb}(t)$ в цепи АВ отсутствовала.

Поскольку наибольшие броски токов при включении трансформатора связаны с бросками намагничивающего тока, рассмотрим, от чего последние зависят.

Пренебрегая активным сопротивлением первичной обмотки и активными потерями в магнитопроводе по сравнению с реактивностью, обусловленной потоками рассеяния и основным магнитным потоком, для напряжения первичной обмотки имеем:

$$u_1(t) = w_1 \frac{d\Phi(t)}{dt}, \quad (1)$$

где w_1 – количество витков первичной обмотки; $u_1(t)$ – напряжение на первичной обмотке; $\Phi(t)$ – полный магнитный поток (включая и потоки рассеяния), сцепленный с витками первичной обмотки.

Из (1) следует, что

$$\Delta\Phi = \Phi(t_2) - \Phi(t_1) = \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} d\Phi = \frac{1}{w_1} \int_{t_1}^{t_2} u(t) dt,$$

то есть приращение магнитного потока в первичной обмотке трансформатора равно интегралу по времени от приложенного напряжения (назовем его вольт-секундным интегралом), деленному на число витков обмотки.

Пусть $u(t) = u_m \sin(\omega t + \psi)$, где ψ – фаза напряжения в момент включения (угол включения); u_m – амплитуда напряжения; ω – угловая частота.

Тогда

$$d\Phi = \frac{u_m}{w_1} \sin(\omega t + \psi) dt; \quad \int_{\Phi_0}^{\Phi(t)} d\Phi = \frac{u_m}{w_1 \omega} \int_0^{\omega t} \sin(\omega t + \psi) d(\omega t);$$

и обозначив $\tau = \omega t$, $d\tau = d\omega t$, получим

$$\Delta\Phi(\tau) = \Phi(\tau) - \Phi(0) = \frac{U_m}{w_1 \omega} \int_0^\tau \sin(\tau + \psi) d\tau = \frac{U_m}{w_1 \omega} (-\cos(\tau + \psi)) \Big|_0^\tau = \frac{U_m}{w_1 \omega} (\cos(\psi) - \cos(\tau + \psi)), \quad (2)$$

где $\Phi_0 = \Phi(0)$ – остаточный магнитный поток в магнитопроводе.

Отметим, что в режиме холостого хода, когда к трансформатору приложено синусоидальное напряжение, магнитный поток также изменяется по гармоническому закону

$$\Phi(t) = \Phi_m \sin(\omega t + \psi_B),$$

тогда

$$\frac{d\Phi(t)}{dt} = \omega \Phi_m \cos(\omega t + \psi_B) = \omega \Phi_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2} + \psi_B\right),$$

следовательно

$$U_m \sin(\omega t + \psi) = w_1 \omega \Phi_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2} + \psi_B\right),$$

откуда

$$\Phi_m = \frac{U_m}{w_1 \omega}; \quad \psi_B = \psi - \frac{\pi}{2}; \quad (3)$$

$$\Phi(t) = \frac{U_m}{w_1 \omega} \sin\left(\omega t + \psi - \frac{\pi}{2}\right). \quad (4)$$

Из выражений (2) и (3) следует, что при угле включения $\psi = 0$ в конце первого полупериода изменения приложенного напряжения $\tau = \omega t = \pi$ изменение потока равно двум его амплитудам

$$\Delta\Phi(\tau) = \Phi(\tau) - \Phi_0 = \Phi_m (\cos(\psi) - \cos(\tau + \psi)), \quad (5)$$

$$\Delta\Phi_{\tau=\pi} = 2\Phi_m.$$

Поскольку этот момент ($\tau = \pi$) соответствует максимальному значению вольт-секундного интеграла

$\int_0^\pi u(\tau) d\tau$, следовательно, в этот момент $\Phi(\pi) = \Phi_{\max}$, магнитный поток достигает своего максимума.

Из выражения (5) также следует, что этот максимум определяется величиной остаточного магнитного потока Φ_0 . Бросок магнитного потока при включении сопровождается броском намагничивающего тока. Наиболее неблагоприятным является случай включения, когда остаточный магнитный поток положителен ($\Phi_0 > 0$).

Выводы: 1. С целью достоверности измерений и обеспечения повторяемости результатов при испытаниях автоматических выключателей с помощью УПЗ включение силового трансформатора должно быть организовано таким образом, чтобы свободная составляющая тока в цепи АВ отсутствовала. 2. Бросок намагничивающего тока зависит от момента включения и остаточного магнитного потока в магнитопроводе трансформатора.

Список использованных источников:

1. Вольдек А.И. Электрические машины. Учебник для вузов. / А.И. Вольдек. – 2-е изд. – Л.: Энергия, 1974. – 840 с.
2. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс. Учебник для вузов. / А.А. Чунихин. – 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.

СЕКЦІЯ 4. ПІДВОДНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.584

Блінцов О. В., канд. техн. наук., доцент; Корицький В. І.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

ОСОБЛИВОСТІ КЕРУВАННЯ САМОХІДНОЮ ПРИВ'ЯЗНОЮ ПІДВОДНОЮ ТЕХНОЛОГІЧНОЮ ПЛАТФОРМОЮ

На сьогоднішній день актуальним є питання організації пошукових та інспекційних підводних робіт у водоймах України, а також в акваторіях Чорного та Азовського морів. Зокрема, існує необхідність в пошуку та знешкодженні вибухонебезпечних об'єктів, інспекції річкових та морських портів, суден тощо [1, 2].

Зазвичай виконання підводних робіт здійснюється прив'язними підводними системами (ППС) на базі самохідних підводних апаратів (СПА). Однак можливість вибору та оперативного встановлення технологічного обладнання (маніпуляторів, гідролокаторів, різаків та ін.) на більшості сучасних СПА є обмеженою, що звужує перелік задач, вирішуваних ППС. Також наявність жорстких зв'язків технологічного обладнання з корпусом СПА ускладнює процес керування ним та ППС у цілому, що призводить до швидкої втоми оператора та зниження ефективності ППС [3].

Підвищити ефективність підводних робіт можливо шляхом проектування СПА як самохідної підводної технологічної платформи (СПТП). До складу платформи входить власний рушійний комплекс та комплекс технологічного обладнання (КТО) з рухомим носієм, який забезпечує рух та позиціонування технологічного обладнання відносно корпусу СПТП. Перелік обладнання, яке може входити до складу КТО, залежить від конфігурації носія технологічного обладнання та обумовлюється поставленою задачею.

В процесі вирішення задач пошуку та інспекції зазвичай використовуються наступні режими руху СПТП [4]:

- позиціонування в певній точці підводного простору;
- рух за заданим курсом та/або з певною глибиною занурення (висотою над ґрунтом);
- занурення або спливання із заданою швидкістю;
- рух із заданою швидкістю на певній дистанції від об'єкта обстеження;
- рух вздовж складної просторової траєкторії.

Рух СПТП у підводному просторі супроводжується впливом на корпус платформи ряду зовнішніх сил та моментів. Конфігурація ППС на базі СПТП, а також сили, які діють на платформу в процесі її руху, зображено на рис. 1.

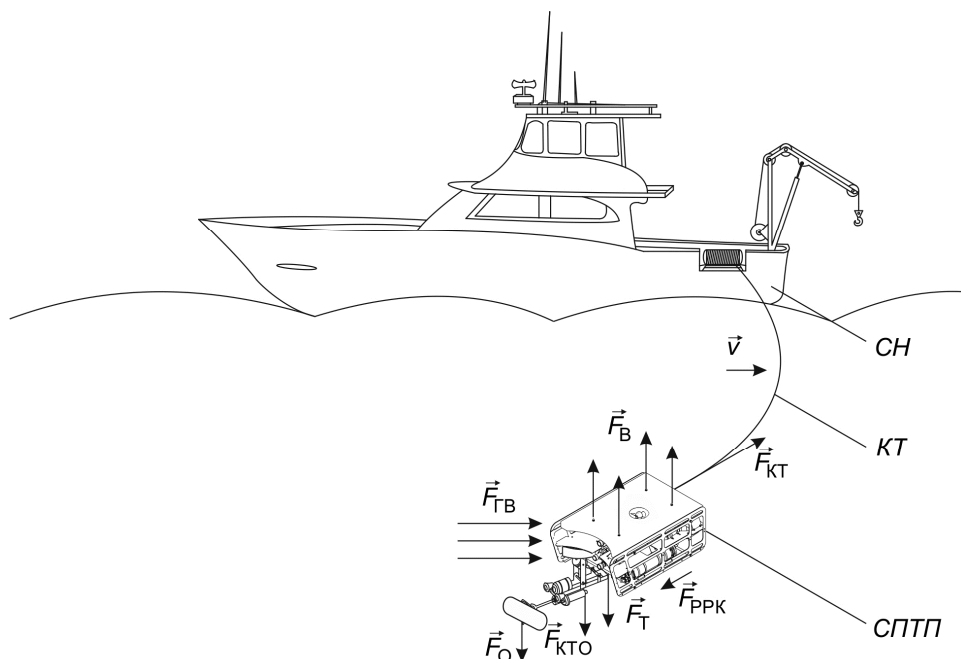


Рис. 1. ППС на базі СПТП та сили, що впливають на неї

Керуючі сили $\vec{F}_{РРК}$, створювані рушійно-рульовим комплексом, забезпечують рух СПТП. Окрім зусиль від рушійно-рульового комплексу на корпус платформи постійно діють сили тяжіння $\vec{F}_T$ та виштовхування $\vec{F}_B$. Також на рух СПТП впливають гідродинамічні сили $\vec{F}_{ГВ}$, які виникають внаслідок взаємодії СПТП з рідиною.

Кабель-трос (КТ), який забезпечує енергоживлення СПТП та інформаційний обмін між СПТП та постом керування, розташованим на судні-носії (СН), створює збурюючу силу $\vec{F}_{КТ}$. Оскільки КТ є елементом з розподіленими параметрами, то $\vec{F}_{КТ}$ є суттєво нелінійним збурюючим впливом і залежить від багатьох змінних, в тому числі від довжини випущеної частини КТ, його діаметру та просторової конфігурації тощо.

Вплив на рух СПТП мають КТО (сила $\vec{F}_{КТО}$), а також об'єкт (сила $\vec{F}_O$), яким маніпулює технологічне обладнання, за умови його наявності (наприклад, у затискачі маніпулятора).

Всі сили, які діють на СПТП також утворюють відповідні моменти, які залежать від точок їх прикладення і в загальному випадку, які і сили, розділяються на керуючі та збурюючі. Суттєві нелінійності як керуючих, так і збурюючих сил та моментів ускладнюють процес ручного керування та синтез систем автоматичного керування (САК) СПТП.

Для керування СПТП пропонується відокремити ті її елементи, які мають здійснювати керований рух і розглядати їх як самостійні задачі керування:

- задачу керування рухом СПТП в тривимірному водному просторі як носія КТО;
- задачу керування рухом КТО відносно СПТП.

Для пошуку та інспекції САК СПТП має реалізовувати такі режими руху:

- стабілізація швидкості поступального руху корпусу СПТП (пошук);
- стабілізація кута курсу та глибини занурення або висоти СПТП над ґрунтом (пошук, інспекція);
- стабілізація відстані від СПТП до об'єкта обстеження (інспекція);
- компенсація впливів збурень від об'єктів, якими маніпулює КТО (інспекція).

Система автоматичного керування КТО при цьому має забезпечувати рух та позиціонування технологічного обладнання відносно корпусу СПТП з урахуванням власного руху СПТП у водному просторі.

Узгоджена робота САК СПТП та САК КТО має забезпечити керований рух технологічного обладнання із заданими параметрами в водному просторі, що є основою для успішної реалізації задач ППС.

Висновки. 1. Запропоновано відокремлювати керований рух елементів самохідної підводної технологічної платформи та синтезувати відповідні системи автоматичного керування власним рухом платформи у водному просторі та рухом комплексу технологічного обладнання відносно платформи, що дає змогу спростити процес синтезу систем автоматичного керування, узгоджена робота яких забезпечить керований рух технологічного обладнання у водному просторі. 2. Сформульовано основні задачі керування, які мають виконувати системи автоматичного керування самохідною підводною технологічною платформою.

Список використаних джерел:

1. Положення про паспортизацію потенційно небезпечних об'єктів [Текст] – Наказ МНС України від 18.12.2000 р., № 338.
2. Керівництво щодо здійснення інтегральної оцінки стану довкілля на регіональному рівні. / Затверджено наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища України № 584 від 14. 11. 2008 р.
3. Christ, R. The ROV Manual: A User Guide for Observation Class Remotely Operated Vehicles [Text] / Christ R., Robert D. Chris, Robert L. Wernli Sr. // – «Elsevier», 2007. – 308 p.
4. Ваулин Ю.В. особенности навигационного и алгоритмического обеспечения телеуправляемого необитаемого подводного аппарата [Текст] / Ю.В. Ваулин, В.В. Костенко, А.М. Павин // Подводные исследования и робототехника. – 2013. - № 2(16). – С. 4-16.

УДК 629.5

Войтасик А. М.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОЖИВЛЕННЯ ВАНТАЖНОГО САМОХІДНОГО ПІДВОДНОГО НОСІЯ

Основне призначення вантажного самохідного підводного носія (ВСПН) – транспортування з судна-носія (СН) вантажу у вигляді автономних радіогідроакустичних станцій (АРГАС) [1]. Для оперативного керування та отримання якісної відеоінформації з ВСПН в режимі реального часу необхідно застосовувати кабель-трос (КТ). Передача електроенергії через КТ майже не обмежує час перебування ВСПН під водою. Проте, на глибинах більше 100 м, КТ через дію підводної течії завдає негативний вплив на роботу ВСПН.

Основна потужність рушійно-рульового комплексу (РРК) ВСПН використовується на подолання гідродинамічного опору КТ. При цьому, чим більшу потужність необхідно передати на ВСПН, тим більшим має бути діаметр КТ. Для того, щоб уникнути невиправданих втрат потужності перспективним вважаємо застосування прив'язного ВСПН з автономною системою енергоживлення [2].

Система автономного енергоживлення призначена для забезпечення електроживлення обладнання ВСПН, яке складається з таких елементів як [3]:

- система інформаційного обміну (ІО) ВСПН;
- бортовий комп'ютер;
- рушійно-рульовий комплекс;
- освітлювальний комплекс;
- та решта обладнання, в тому числі і націпне.

З економічної точки зору, в якості енергоносія системи автономного енергоживлення пропонується застосовувати блок гелієвих акумуляторних батарей. Таке рішення суттєво позначиться на масі підводного носія, проте є економічно вигідним. Застосування інверторів напруги необхідної потужності забезпечить номінали бортового енергоживлення ВСПН на 12, 15, 24, 27, 48 та 600 В постійної напруги.

Застосування системи автономного енергоживлення надає змогу використовувати КТ, що містить в своєму складі лише інформаційну складову та реалізовувати два необхідні режими роботи ВСПН [4]:

1) установку АРГАС у робоче положення шляхом розгортання обладнання на морському дні та перестановка за необхідності;

2) згортання АРГАС шляхом установки на ВСПН і повернення до СН.

Інвертори напруги, які будуть застосовані при побудові системи автономного енергоживлення ВСПН призначенні для зменшення постійної напруги з АКБ (DC 600 В) відповідно до номіналів електричних споживчих груп електрообладнання.

Напругу живлення електричних споживчих груп буде перетворено за допомогою DC/AC та AC/DC інверторів напруги. Для вибору інверторів необхідно врахувати потужність всіх споживачів електроенергії ВСПН відповідно до технічних характеристик електрообладнання.

Перелік електричних споживчих груп ВСПН наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Електричні споживчі групи ВСПН

№ п/п	Електрична споживча група	Напруга живлення, В	Споживчий струм, А	Повна потужність, Вт
1	Рушійно-рульовий комплекс	600	25	15000
2	Система керування (СК) націпним обладнанням	48	10	480
3	Навігаційний комплекс	27	0,78	21
4	СК націпним обладнанням	24	10	240
	Освітлювальний комплекс		8x1,6	8x38,4
	Гідроакустичний комплекс		0,63	15
	Відеокомплекс		3x2	3x12
	Бортовий комп'ютер		1,67	40
	Система ІО		0,83	20
	Рушійно-рульовий комплекс	15	5	75
5	СК націпним обладнанням	12	10	120
Сумарні значення струму та потужності електричних груп напругою 12-48 В			57,71	1354,2

Враховуючи сумарні значення струму та потужності наведені в табл. 1, обираємо наступні інвертори напруги:

- DC/AC інвертор типу GH15K50-600 (600 В);
- AC/DC інвертор типу FLATPACK2 (48 В);
- DC/DC інвертор типу SD-150C-12 (12 В);
- DC/DC інвертор типу SD-25C-12 (15 В);
- DC/DC інвертор типу SD-1000L-24 (24 В);
- DC/DC інвертор типу SD-25C-24 (27 В).

Електричну принципову схему системи автономного енергоживлення ВСПН наведено рис 1.

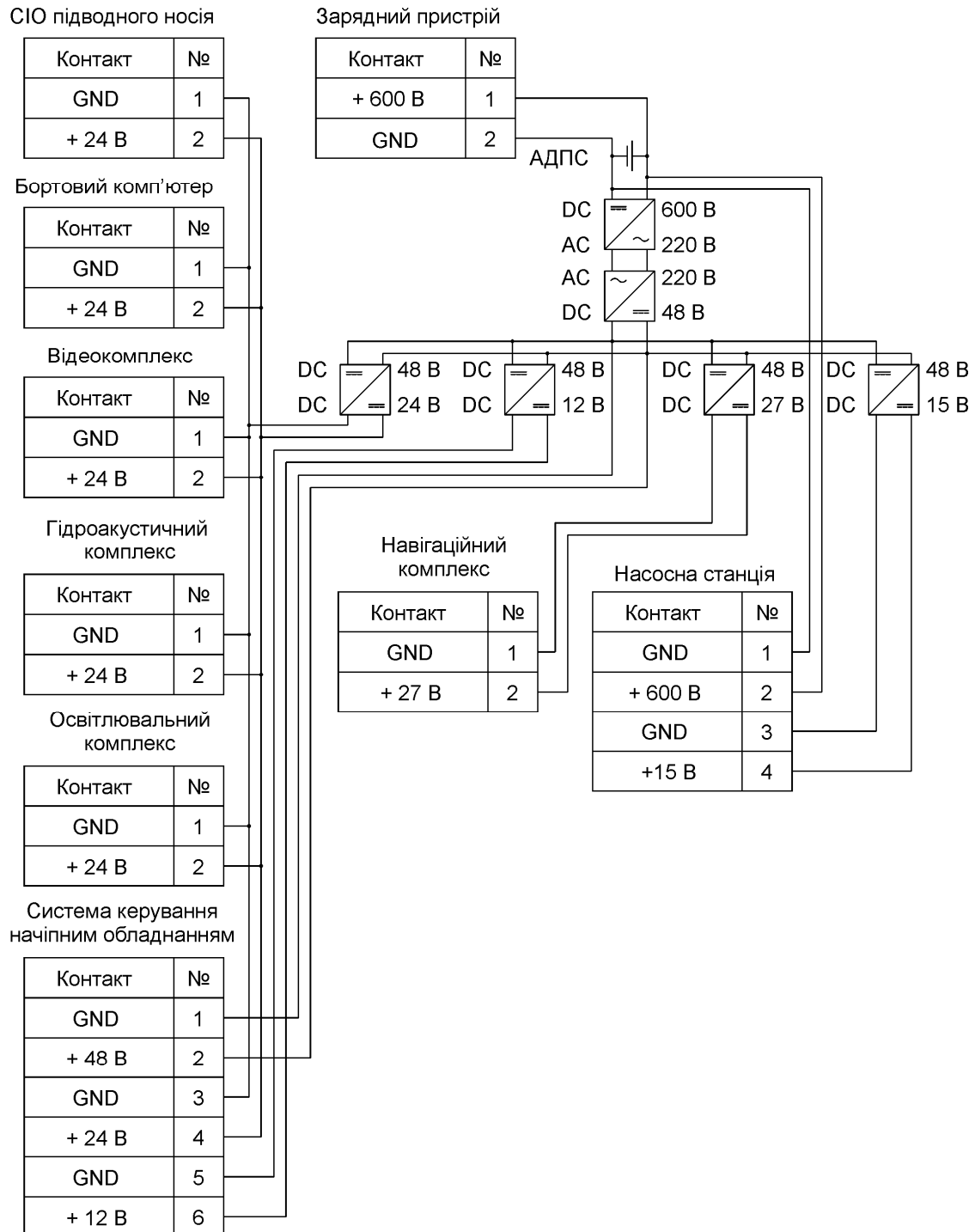


Рис. 1. Електрична принципова схема системи автономного енергоживлення вантажного самохідного підводного носія

З метою зменшення масогабаритних характеристик ВСПН зарядний пристрій повинен бути розміщений на СН. Для заряду акумуляторних батарей рекомендується застосовувати автоматичний зарядний пристрій.

Серед основних переваг таких пристроїв можна відзначити:

- виконання самостійного процесу заряду акумуляторних батарей;
- по завершенню процесу заряду автоматичне відключення від бортової мережі СН;
- захист від перевантаження, короткого замикання, перегріву.

Висновки. Представлено основні споживчі характеристики електрообладнання ВСПН. Враховуючи значення струмів та потужностей споживчих груп електрообладнання виконано вибір інверторів напруги. Розроблено електричну принципову схему системи автономного енергоживлення ВСПН.

Список використаних джерел:

1. Войтасик, А. М. Спеціалізований вантажний саморушний телекерований підводний носій як інструмент моніторингу підводної обстановки України [Текст] / А. М. Войтасик // Автоматика та електротехніка: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції студентів та молодих учених з міжнародною участю: – Миколаїв: НУК, 2013. – С. 141-143.
2. Войтасик, А.М. Розробка системи автономного енергоживлення вантажного самохідного підводного носія [Текст] / А. М. Войтасик, О.О. Дідняк // Підводна техніка і технологія: Матеріали V всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю В 2 ч.: – Миколаїв: НУК, 2015. – Ч.1 - С. 90-92.
3. Блинцов, В.С. Электрооборудование грузового самодвижущегося телеуправляемого подводного носителя [Текст] / В.С. Блинцов, Г.В. Бабкин, А.В. Блинцов, П.Г. Клименко, А.Н. Войтасик // Проблемы автоматизации та електрообладнання транспортних засобів: Матеріали XI всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю – Миколаїв: НУК, 2014. – С. 53-55.
4. Войтасик, А.М. Автоматизація процесу установки вантажу на морське дно [Текст] / А. М. Войтасик // Сучасні проблеми автоматизації та електротехніки: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю – Миколаїв: НУК, 2015. – С. 46-47.

УДК 629.5

Войтасик А. М.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛЕБІДКИ РАДІОГІДРОАКУСТИЧНОГО БУЯ

Автономна радіогідроакустична станція (АРГАС) – це сукупність схематично і конструктивно поєднаних акустичних, електричних і електронних пристроїв та приладів за допомогою яких здійснюється прийом або випромінювання, чи прийом та випромінювання акустичних коливань у воді.

Призначення АРГАС це виявлення, слідкування та визначення місця знаходження надводних суден, підводних човнів та плавців.

Відповідно стандартної комплектації до складу АРГАС входить:

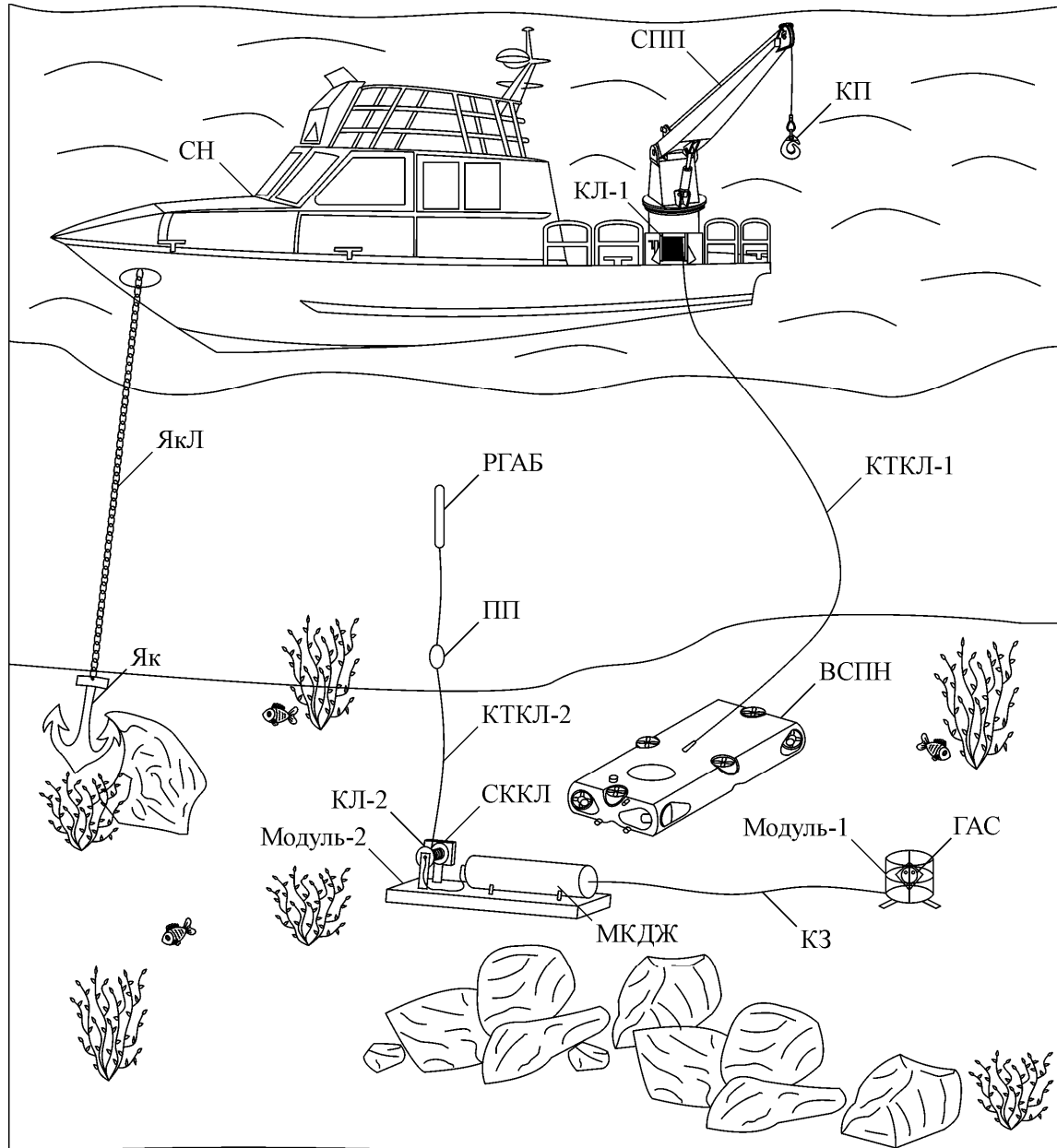
- 1) модуль-1 (містить активну ГАС);
- 2) кабель зв'язку (КЗ);
- 2) модуль-2:
 - джерело живлення (ДЖ) модуля-1;
 - ДЖ кабельної лебідки (КЛ);
 - КЛ з приводом та кабелем;
- 3) блок проміжної плавучості (ПП);
- 4) радіогідроакустичний буй (РГАБ).

Розташування складових частин АРГАС після установки на морське дно можна розглянути на рис. 1.

В якості інструменту для моніторингу підводної обстановки держави виконуються роботи з розробки вантажного самохідного підводного носія (ВСПН) призначеного для транспортування з СН вантажу у вигляді АРГАС.

Вимоги до функціональності ВСПН:

- транспортування АРГАС;
- постановка АРГАС на ґрунт;
- автоматична оцінка правильності постановки АРГАС і застосування інтелектуального керування для наступних дій;
- відхід від точки постановки вантажу;
- прийом команд оператора для наступних дій пов'язаних з АРГАС (заряд батарей, транспортування в іншу точку, візуальний огляд технічного стану і т.п.).



СН – судно-носіє; КЛ-1 – кабельна лебідка-1; СПП – спуско-підйомний пристрій; КП – крюковий підвіс;
КТКЛ-1 – кабель-трос КЛ-1; ВСПН – вантажний самохідний підводний носіє; ГАС – гідроакустична
станція; КЗ – кабель зв'язку; МКДЖ – міцний корпус джерела живлення; КЛ-2 – кабельна лебідка-2; СККЛ
– система керування кабелем лебідкою; КТКЛ-2 – кабель-трос КЛ-2; ПП – блок проміжної плавучості;
РГАБ – радіогідроакустичний буй; Як – якор; ЯкЛ – якорний ланцюг

Рис. 1. Розташування АРГАС на морському дні

З врахуванням технічних характеристик електрообладнання АРГАС було розроблено структурну схему системи енергозабезпечення КЛ-2 (рис. 2).

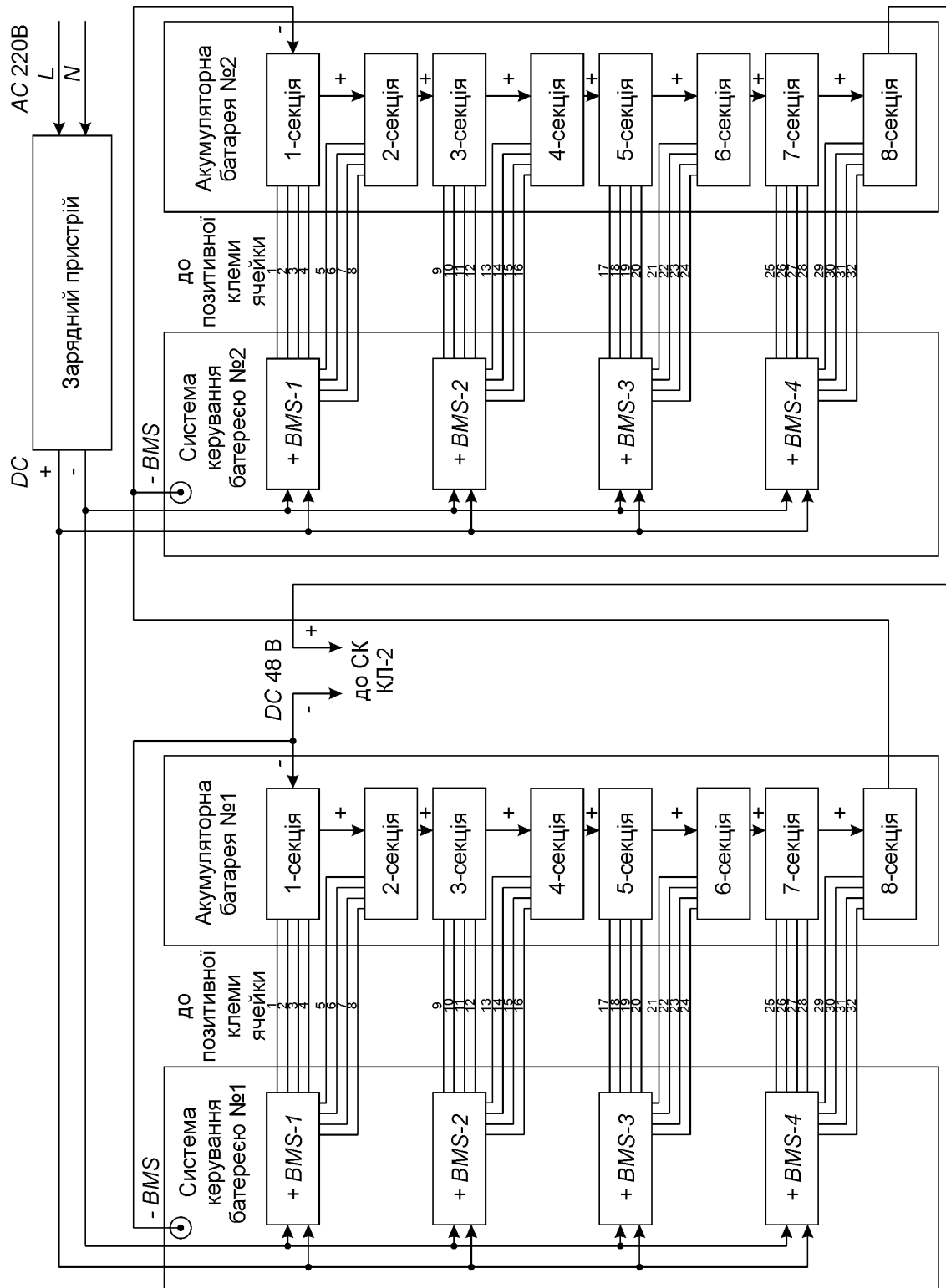


Рис. 2. Структурна схема системи енергозабезпечення КЛ-2

До складу системи енергозабезпечення КП-2 входить:

- зарядний пристрій;
- системи керування батареями №1 та №2;
- акумуляторна батарея №1 та №2;
- система керування КП-2;
- контролер;
- виконавчий електродвигун.

Зарядний пристрій розташовується в МК ДЖ КП-2 та призначений для заряджання акумуляторного джерела живлення DC 48 В 32 А·год від електричного кабелю СН або бортової мережі ВСПН.

Уникнути негативних руйнівних процесів в акумуляторній батареї дозволяє метод балансування. Система керування і балансування акумуляторів стежить за тим, щоб всі акумулятори наприкінці зарядки одержували однакову напругу. При підході зарядного процесу до кінця BMS робить балансування шунтуванням акумуляторів, що зарядилися, або ж переносить енергію елементів з більшою напругою до елементів з меншою напругою.

Система керування батареєю, виконуючи балансування, а також забезпечуючи контроль температури і виконання ряду інших функцій, максимально продовжує термін служби акумуляторного джерела живлення.

Акумуляторна батарея №1 та №2 з'єднанні послідовно для забезпечення сумарної DC напруги 48 В, та ємності 32 А·год.

В якості виконавчого електродвигуна кабельної лебідки будемо застосовувати безколекторний двигун постійного струму.

Висновки. Наведено складові елементи прив'язної підводної системи до складу якої входить ВСПН та АРГАС. Сформульовано вимоги до функціональності ВСПН. Розроблено структурну схему системи енергозабезпечення лебідки радіогідроакустичного буя.

Перелік використаних джерел:

1. Войтасик, А.М. Розробка системи енергозабезпечення лебідки для радіогідроакустичного буя [Текст] / А.М. Войтасик, О.А. Ларінков // Підводна техніка і технологія: Матеріали V всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю В 2 ч.: – Миколаїв: НУК, 2015. – Ч.1 - С. 92-94.
2. Войтасик, А.М. Технічні проблеми безпечного застосування автономної радіогідроакустичної станції [Текст] / А.М. Войтасик // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої 95-річчю Національного університету імені адмірала Макарова: – Миколаїв: НУК, 2015. – С. 328-329.
3. Войтасик, А.М. Вантажний самохідний підводний носій як представник гібридного робота [Текст] / А.М. Войтасик // Підводна техніка і технологія: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. В 2 ч. – М.: НУК, 2014. – ч.2 С. 38-41 (Для службового користування).

УДК 629.5

Грудініна Г. С.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ГРЕБНОГО ГВИНТА ПІДВОДНОГО АПАРАТА У КОСОМУ ПОТОЦІ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Рішення державних завдань забезпечення енергетичної безпеки і національних інтересів в боротьбі за морські ресурси передбачає використання сучасних підводних технологій, засобів і систем. Значна віддаленість від берега, велика робоча глибина, складність рельєфу дна сильно обмежують можливість використання водолазів і традиційних видів підводної техніки. Для проведення робіт в таких умовах найбільш перспективним є використання автономних ненаселених підводних апаратів (АНПА).

До автономних ненаселених підводних апаратів належать самохідні НПА з автономною системою енергозабезпечення та, як правило, бездротовим каналом телеуправління і зв'язку.

Рушійно-кермовий комплекс є одним з найважливіших компонентів ненаселених підводних апаратів. Він безпосередньо впливає на цілий ряд найважливіших характеристик підводного апарату, таких як швидкість, маневреність, точність руху по просторовим траєкторіям в умовах підводної течії.

Аналіз сучасних рушійно-кермових комплексів з позиції підвищення ефективності роботи гребного гвинта вказує на те, що останнім часом все більшої переваги надається новому поколінню співвісних гребних гвинтів з направляючими насадками. Найбільшого ефекту дозволяють досягти співвісні гвинти протилежного обертання (СГПО) (Japan Marine United Corporation, і т. д.) [1].

Принцип дії СГПО цілком відповідає назві. Валопровід складається з двох валів, один з яких проходить всередині іншого. Передній гвинт сидить на зовнішньому валу, задній, з дещо меншим діаметром і великим кроком, - на внутрішньому, вони обертаються у протилежні сторони, рис. 1.

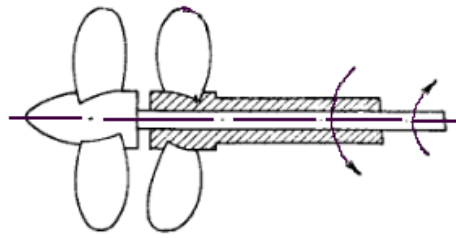


Рис. 1. Схема рушійного пристрою АНПА з співвісними гребними гвинтами протилежного обернення

На будь-якому режимі така конструкція дає змогу практично повністю усунути зовнішні втрати. Пара співвісних гвинтів завжди виграє в ККД у порівнянні з гвинтом, за яким розташовано обтічне кермо. Зростання ККД гвинта у вільній воді становить 10-12%, коефіцієнт впливу корпусу збільшується на 10-15%, що дає змогу знизити необхідну потужність до 20% [2]. Крім того, така конструкція рушійного пристрою виключає обертання АНПА по поздовжній осі при його русі.

У процесі руху АНПА його рушії працюють в різних режимах, в тому числі і в режимі, коли рушій обтікається потоком, напрямок якого становить деякий кут з віссю рушія. Такий режим обтікання називають обтікання рушія «косим» або «скошеним» потоком. Робота рушіїв АНПА в скошеному потоці є поширеним, типовим явищем, але, зазвичай проєктанти АНПА ці особливості не враховують і використовують відомі розрахункові залежності тільки для осьового обтікання рушія. Напрямок вектора упору рушія завжди приймають таким, що збігається з віссю рушія, що не відповідає реальній картині [3].

Для отримання достовірних даних про роботу рушіїв в скошеному потоці необхідно дослідити вплив скошеного потоку на гідродинамічні характеристики рушія, а саме визначити залежність зміни сили упору від швидкості та кута набігаючого потоку. Під час розробки системи керування АНПА нового покоління досить важливо враховувати не лінійності, які будуть виникати при зміні швидкості набігаючого потоку та кута внаслідок зміни траєкторії руху апарату.

Необхідно відзначити, що аналіз роботи двигуна в скошеному потоці є надзвичайно складним завданням. Найбільш повні і достовірні результати дають тільки експериментальні натурні дослідження рушія з метою отримання так званих кругових характеристик.

Завдяки сучасним технологіям за наявності математичної моделі об'єкта дослідження маємо можливість дослідити зміну гідродинамічних сил за необхідних умов роботи АНПА. Найбільш наглядних і точних результатів можна досягти за допомогою пакету прикладних програм Simulink matlab. З його допомогою, також, маємо можливість побудувати функцію залежності сили упору від швидкості та кута набігаючого потоку.

Отримати більш наглядну інформацію з детальним розподілом кривизни функції можна з використанням універсальної програмної системи кінцево-елементного аналізу ANAYS.

Треба відзначити, що в минулому таке детальне дослідження проводилось з одиночним гребним гвинтом, на даний час дослідження властивостей гідродинамічних сил СГПО є досить актуальним питанням, яке дозволить розширити можливості при вирішенні задач синтезу САК ПА.

Список використаних джерел:

1. Интернет ресурс. – Вільний доступ. – Мова російська. – (<http://www.boatportal.ru/articles>).
2. Антоненко С.В. Судовые движители: учеб. пособие / С.В. Антоненко; Дальневосточный государственный технический университет. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 126 с.
3. Вельтищев В.В. Анализ влияния скошенного потока на рабочие характеристики движителей необитаемых подводных аппаратов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. «Актуальные проблемы развития ракетно-космической техники и систем вооружения». – 2010. – С. 97-106.
4. Бражко А. С. Моделирование работы гребного винта в насадке в косом набегавшем потоке // А. С. Бражко ассист., Ю. М. Король, канд. техн. наук, проф. Национальный университет кораблестроения, г. Николаев.

УДК 629.58

Клочков О. П., Бабур О. С.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

ВИКОНАННЯ ПІДВОДНОЇ КОМУТАЦІЇ ПРИВ'ЯЗНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТА

Склад прив'язного підводного апарата (ППА) передбачає у мінімальній конфігурації для пошукових робіт наявність рушійно-рульового комплексу (РРК), що складається з трьох електрорушійних пристроїв, відеокамери, освітлювального комплексу, міцних корпусів відповідного призначення та вузла вводу кабель-троса (ВВКТ). Ці елементи мають підводне виконання та розташовуються на каркасі, який при додаванні блока(-ів) плавучості, утворює корпус ППА.

Для передачі електричних та інформаційних сигналів від ВВКТ до міцного корпусу керування, а потім і до інших елементів використовується підводна комутація у вигляді кабелів підводного виконання.

Підводний кабель за своїм виконанням містить певну кількість провідників, що знаходяться в середовищі наповнювача та разом з ним обмежені зовнішньою оболонкою. Цікавість являє собою входи підводного кабелю до елементів ППА.

Цей вхід може бути виконаний у двох варіантах – гермороз'єм та гермоввод [1].

Гермороз'єм виконується як рознімання і складається з кабельної та корпусної частин. У випадку підводного кабелю, де його обидва кінці реалізовані як частини гермороз'єму, підводний кабель представляє собою самостійний елемент комутації. Схематичний вигляд конструкції гермороз'єму наведено на рис. 1.

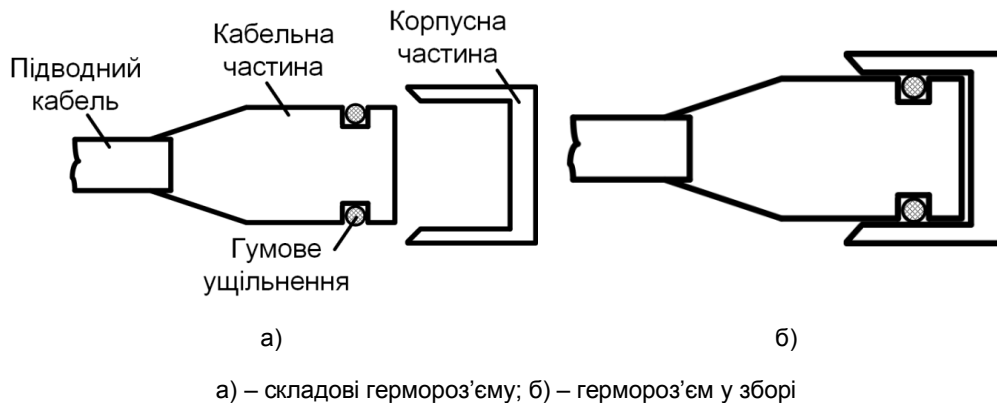


Рис. 1. Схематичний вигляд конструкції гермороз'єму

На відміну від гермороз'єму, гермоввод є частиною пристрою. Він так само має корпусну частину, але кінець підводного кабелю «заходить» всередину елемента, де виконується електричне з'єднання.

Схема конструкції гермо вводу представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема конструкції гермовводу

Перевагою застосування гермороз'єму є те, що у випадку пошкодження підводного кабелю, він замінюється іншим без втручання в конструкцію елемента ППА. Крім того, є можливість обирати підводний кабель визначеної довжини для його оптимального прокладання по каркасу ППА. До недоліків можна віднести зношення гумових ущільнень при частому розніманні та складанні гермороз'єму та їх заміну при зануренні та перебуванні апарата на значній глибині.

Використання гермовводу не потребує процесу рознімання та складання, так як підводний кабель у цьому випадку є частиною елемента ППА. Таким чином, надійність гумового ущільнення підвищується, а ризик некоректної експлуатації знижується. Недоліком при цьому є те, що вихід з ладу підводного кабелю призводить до заміни всього елемента чи за відсутності його заміни, втручання до його конструкції з метою усунення несправності.

Таким чином, якщо елемент ППА має кінцеве виконання з високим ступенем надійності і розміщення інших елементів відносно нього відомо, тоді краще використовувати у його складі гермоввод, а з іншого боку підводного кабелю – гермороз'єм, кабельна частина якого під'єднується до міцного корпусу.

Виготовлення та тестування експериментальної підводної техніки потребує динамічної зміни розташування елементів ППА з можливістю перемикання підводних кабелів з одного боку міцного корпусу на інший, регулюючи їх довжину. Для зменшення часу на ці операції рекомендується використовувати гермороз'єм.

Список використаних джерел:

1. Ястребов В.С. Электроэнергетические установки подводных аппаратов / В.С. Ястребов, А.А. Горлов, В.В. Симинский. - Л.: Судостроение, 1986. - 208 с., ил.

УДК 681.5

Ольшевский С. И.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

ПОЛУЧЕНИЕ АППРОКСИМАЦИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖИТЕЛЕМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ МОДЕЛИ

Исследовательская модель судна предназначена для проведения экспериментальных исследований с гидробионическим движителем плавникового типа. Этот движитель позволяет обеспечить модели как тягу так и манёвренность [1-3]. В [4] рассмотрено использование подобной модели для сравнительного анализа эффективности разных видов плавников. В [5] рассматривались особенности проведения моделирования применительно к необитаемым подводным аппаратам привязного (с кабель-тросом) типа.

Кинематика изготовленной модели рассмотрена в [6].

С применением пакета Компас был проведен расчет геометрических параметров движителя модели и определены характерные точки положения нижней (погруженной) части движителя модели с привязкой к положению выходного вала редуктора электродвигателя привода. Определено шесть характерных положений элементов движителя. Были проведены расчеты и составлена математическая модель для определения момента сопротивления, приведенного к валу электродвигателя [7].

Для управления электродвигателем модели с возможностью контроля и фиксации ряда параметров была разработана система управления на базе RISC микроконтроллера. В настоящее время решается задача обеспечения надежной помехоустойчивой связи между RISC микроконтроллером и инструментальной ЭВМ. С аппаратной точки зрения прорабатывается вопрос возможности использования одной из двух питающих линий в качестве линии связи интерфейса ЭВМ–микроконтроллер. С программной точки зрения – адаптация промышленного протокола MODBUS для применения в модели. Использование этого протокола сделает возможным применение в составе программного обеспечения инструментальной ЭВМ такого мощного пакета как LabView фирмы National Instruments.

Особенностью изготовленного движителя является использование одного электродвигателя для обеспечения движения как стебля движителя так и перекладки плавника (крыла). Математическое описание движения для получения зависимостей для сил и моментов, возникающих на крыле, затруднено в связи с существенными нелинейностями и разрывами в функциях зависимостей координат и скоростей элементов движителя.

На рисунке 1 приведена векторная модель части движителя.

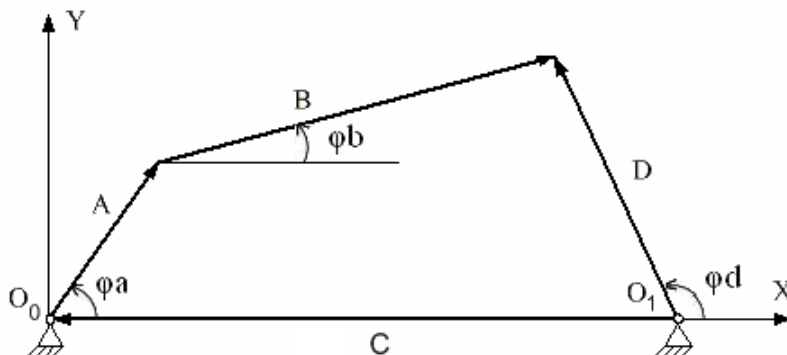


Рис. 1. Векторная модель части движителя

Функциональная зависимость угла поворота коромысла (φ_d) от угла поворота выходного вала редуктора электродвигателя (φ_a) содержит ряд тригонометрических функций и не позволяет получить зависимость угловых скоростей.

Для реализации математической модели предлагается применить аппроксимацию результатов численного решения уравнений координат для возможности в дальнейшем получить уравнения скоростей и ускорений.

На рисунке 2 приведен фрагмент листинга программы численного решения уравнений кинематики для определения взаимозависимостей углов поворота выходного вала редуктора электродвигателя и коромысла движителя.

```
for i:=1 to 361 do
begin
  fi_a:=i;
  fi_ar:= fi_a*pi/180;
  z:=a_c*a_c+1-2*a_c*cos(fi_a*pi/180);
  cs_a:=(1-a_c*cos(fi_a*pi/180))/sqrt(z);
  sn_a:=a_c*sin(fi_ar)/sqrt(z);
  alfa:=arctan2(sn_a,cs_a)*180/pi;
  cs_ab:=0.5*(a_c*a_c+b_c*b_c+1-d_c*d_c-2*a_c*cos(fi_ar))/(b_c*sqrt(z));
  a_b:=arccos(cs_ab)*180/pi;
  fi_b:=a_b-alfa;
  sn_d:=(a_c*sin(fi_ar)+b_c*sin(fi_b*pi/180))/d_c;
  cs_d:=(a_c*cos(fi_ar)+b_c*cos(fi_b*pi/180)-1)/d_c;
  fi_d:=arctan2(sn_d,cs_d)*180/pi;
end;
```

Рис. 2. Фрагмент листинга программы

На рисунке 3 приведена рабочее окно программы для проведения расчетов.

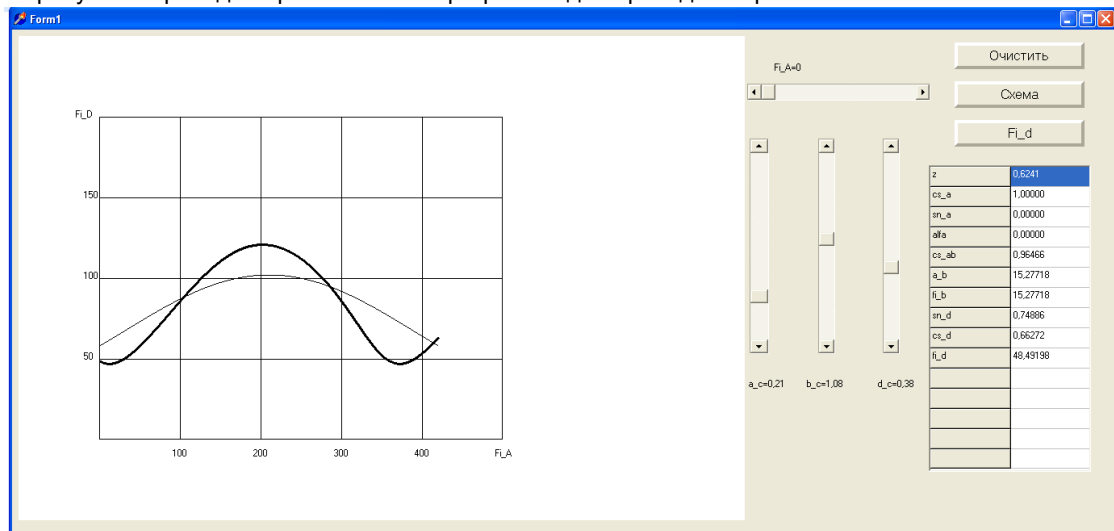


Рис. 2. Рабочее окно программы

Совместное решение полученных уравнений позволит получить работоспособную модель движителя и использовать ее при построении системы управления движителем и исследовательской моделью в целом.

Список использованных источников:

1. K. A. Harper, M. D. Berkemeier and S. Grace. Modeling the dynamics of spring-driven oscillating-foil propulsion. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 23(3):285–296, 1998.
2. S. D. Kelly, R. J. Mason, C. T. Anhalt, R. M. Murray, J. W. Burdick. Modeling and experimental investigation of carangiform locomotion for control. In Proceedings of the American Control Conference, pages 1271–1276, June 1998.
3. S. D. Kelly and R. M. Murray. Modelling efficient pisciform swimming for control. International Journal of Robust and Nonlinear Control, 10:217–241, 2000.

4. Hirata K. Development of Experimental Fish Robot. Proceeding of the 6th International Symposium on Marine Engineering. Volume 2, p. 711-714. Tokyo, Japan, 2000.
5. Блинцов В.С., Ольшевский С.И. Моделирование движения необитаемого подводного аппарата // 36. наук. пр. УДМТУ. – Миколаїв: УДМТУ, 1998. – № 12. – С. 109-118.
6. Блинцов В.С., Ольшевский С.И., Бойко Ю.В., Симзиков А.В. Математическое описание движения элементов гидробионического движителя плавникового типа // Проблемы автоматики та електрообладнання транспортних засобів: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції. –Миколаїв: НУК, 2012. – с.114–118.
7. Ольшевский С.И. Система управления гидробионическим движителем плавникового типа // Підводна техніка і технологія: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Миколаїв: НУК, 2013. – с.99–101.

УДК 629.5

Сірівчук А. С.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

СУЧАСНІ ЗАСОБИ ПРОВЕДЕННЯ ПІДВОДНОГО МОНІТОРИНГУ

На даний час в Україні моніторинг переважно виконується без залучення спеціалізованої автоматизованої техніки. Такий підхід має низку недоліків, до яких відносять: недостовірність отриманих даних, залежність від погодних умов, більш тривалий час проведення моніторингу та більш висока вартість.

Так при екологічному моніторингу при відборі проб води в водоймищах до ефективних традиційних способів можна віднести відбір проб з мостів, канатних переправ та в районі броду. Але такий відбір проб можливий лише в невеличких річках.

При моніторингу екологічному моніторингу морських акваторій та району великих річок (Дніпро, Південний Буг, Дністер тощо) такий спосіб відбору проб практично неможливий. Тому в даних акваторіях використовується відбір проб з судів або вертольотів. Дані способи відбору проб в свою чергу мають низку недоліків:

- відсутність точних орієнтирів, що призводить до збільшення похибки визначення географічних координат місця збору проби;
- можливість забруднення проби донними відкладеннями, що були підняті при русі судна;
- складність утримання в точці при тривалому зборі проби;
- висока вартість застосування транспортної техніки [1].

Відбір проб ґрунту робиться з судна за допомогою опускного пристрою, що має спеціалізовані клешні, але при збільшенні глибини та наявності течій такий спосіб відбору проб втрачає свою ефективність, особливо якщо необхідно отримати проби з площі обмеженого радіусу.

Крім відбору проб води та донних відкладень в екологічному моніторингу зазвичай вимірювальними параметрами водного середовища є: швидкість звуку у воді, електропровідність, температура, концентрація водневих іонів рН, тиск, прозорість води. А також велике значення мають параметри, пов'язані з життям морських організмів: концентрації кисню, вуглекислого газу, кальцію, фосфору та інших елементів, освітленість, щільність біомаси, різні антропогенні фактори.

Зазвичай всі, зазначені вище, параметри вимірюються за допомогою донних станцій [2] на яких розташоване дане обладнання. Недоліками використання даних систем є невисока мобільність, великий час розсортування системи та обмеженість зони вимірювання.

Найбільш складною задачею екологічного моніторингу є висвітлення підводної обстановки в місцях аварій з викидом шкідливих речовин. Швидке та достовірне висвітлення підводної обстановки в такому випадку дає змогу не тільки більш детально оцінити масштаби погіршення екологічної обстановки, а й зменшення негативного впливу на екологію шляхом своєчасного проведення заходів зупинення викидів шкідливих речовин та очищення акваторії.

Ефективний моніторинг після аварійної обстановки без застосування автоматизованої техніки майже неможливий оскільки він передбачає наступні вимоги:

- мобільність технічного засобу проведення моніторингу, технічний засіб повинен легко транспортуватися та мати невеликий підготовки до роботи;
- відсутність людини під водою, оскільки це призводить до погіршення здоров'я людини;
- достовірність отриманої інформації;
- можливість проведення технічних робіт під водою, для можливості усунення джерела витоків шкідливих речовин. Такий підхід дає можливість технологія «все за одне занурення», що суттєво зменшить негативний вплив на навколишнє середовище.

Задачі промислового моніторингу на даний час виконуються за допомогою водолазів [3], стаціонарних станцій [4] та прив'язних підводних систем (ППС). Основною характерною рисою даних робіт є їх довга три-

валість, оскільки результатом роботи повинно бути безперервне знімання характеристик досліджуваного об'єкта на всій його площі (греблі) або довжині (трубопроводи).

Недоліками використання водолазів є висока вартість проведення робіт, обмежений час знаходження під водою, обмеженість використовуваного набору інструментів за одне занурення та загроза життю людини при виникненні непередбачуваної ситуації (заплутування, зачеплення, пошкодження водолазного спорядження тощо).

Використання донних станцій в першу чергу забезпечує моніторинг лише однієї ділянки, а перестановка такої станції потребує значних затрат часу або встановлення допоміжних станцій приводить до збільшення вартості проведення моніторингу. Донні станції також є не гнучкими в засобах збору інформації.

Висновки. Використання ППС значно спрощує виконання заданого типу моніторингу. Але якщо така система не має інтелектуальної системи керування то до її недоліків слід віднести необхідність залучення кваліфікованого персоналу та втомленість оператора підводного апарата у зв'язку з тривалістю роботи.

Список використаної літератури:

1. Якунина, И. В. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг : учебное пособие [Текст] /И. В. Якунина, Н. С. Попов // . – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та , 2009. – 188 с.
2. Левченко Д.Г. Методы и средства измерения параметров океанической среды автоматическими многоцелевыми донными станциями [Електронний ресурс]/ Д. Г. Левченко // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2010. - Т.5. - №2. - Режим доступа: – http://www.ngtp.ru/rub/12/28_2010.pdf
3. Carla Alves MARINHO1 , Carlos PATUSCO, Claudio CAMERINI, Luis MESQUITA, Rafael Wagner dos SANTOS, Sergio DAMASCENO, Sergio MORIKAWA PETROBRAS' DEVELOPMENTS in UNDERWATER INSPECTION
4. Mohamed, N.; Jawhar, I.; Al-Jaroodi, J.; Zhang, L. Sensor Network Architectures for Monitoring Underwater Pipelines. Sensors2011, 11.

СЕКЦІЯ 5. ІМПУЛЬСНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОСЛОГІЇ**УДК 621.314.5:537.523:661.666.4537.529:621.762**

Богуславський Л. З., канд. техн. наук, доцент, Назарова Н. С., канд. техн. наук, доцент, Овчиннікова Л. Є., канд. техн. наук, доцент, Козирев С. С., канд. техн. наук, доцент

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв; Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, Миколаїв

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНОГО СИНТЕЗУ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ

Дослідження процесу утворення нановуглецю з вуглецевовмісних газів представляє складну, але вкрай важливу задачу, так як має велике практичне значення. Вуглецеві наноматеріали досить різноманітні в залежності від своєї структури. Серед різноманіття вуглецевих наноматеріалів заслуговує на увагу аморфний вуглець з onion-like структурою, який відзначається особливими електрофізичними властивостями. Аморфний нановуглець з розмірами часток від 2 нм до 150 нм або в технологічній термінології технічний нановуглець - важлива технологічна сировина, яка широко використовується в світовому масштабі. Тому розвиток наукових основ та фізико-технічних принципів реалізації високочастотного методу синтезу з вуглецевовмісних газів аморфного нановуглецю є актуальним.

Дотепер не існує загальноприйнятої теорії утворення структур вуглецевих наночастинок, відповідно і моделі процесу. Видатні фахівці в галузі виробництва технічного нановуглецю Суровикін В. Ф., Fusco A., Крестинін А. В., Hiroyasu H. та інші внесли значний внесок у розуміння процесу утворення нановуглецю, досягнуто певного прогресу в області розуміння механізмів утворення наночастинок вуглецю [1-4]. Відомо кілька гіпотез, але встановлення детального механізму утворення нановуглецю як і раніше залишається важливою фундаментальною проблемою науки, природа технічного нановуглецю залишається предметом інтенсивних досліджень.

З метою створення технології отримання нановуглецю з заданою структурою необхідно дослідити складні фізико-хімічні механізми його утворення та, проаналізувавши існуючі математичні моделі синтезу, визначити координати вектору стану та діапазони їх значень, що забезпечують продуктивний синтез вуглецевих наноматеріалів.

В результаті аналізу існуючих моделей синтезу нановуглецю встановлено, що при заданій сировині вихід нановуглецю залежить від швидкості формування ядер та швидкості зростання часток, які в свою чергу залежать від температури, тиску та енергії. Тому в якості координат вектору стану синтезу нановуглецю, які дають змогу впливати на результат синтезу (вихід нановуглецю) прийнято: T - температура, p - тиск; W - енергія.

Технологія високочастотного електророзрядного синтезу нановуглецю onion-like структури з газоподібних вуглеводнів для забезпечення необхідних значень координат вектору стану продуктивного процесу синтезу $[T, p, W]$ потребує встановлення відповідного режиму розряду, що визначається параметрами електричного розряду в газонаповненій розрядній камері [5]. Тому спостережними координатами електророзрядного синтезу вуглецевих наноматеріалів є U - напруга, I - струм, P - потужність, f - частота проходження імпульсів.

В якості керуючої координати електророзрядного синтезу нановуглецю прийнято довжину розрядного проміжку l , регулювання якої забезпечує необхідні режими розряду для забезпечення продуктивного електророзрядного синтезу вуглецевих наноматеріалів заданої структури.

Список використаних джерел:

1. Суровикін, В. Ф. Аналитическое описание процессов зародышеобразования и роста частиц сажи при термическом разложении ароматических углеводородов в газовой фазе [Текст] / В. Ф. Суровикін // Химия твердого топлива. - 1976. - № 1. - С. 111-122.
2. Fusco, A. Application of a Phenomenological Soot Model to Diesel Engine Combustion / A. Fusco, A. Knox-Kececy, D. Foster // International Symposium Commodity, Tokyo. - Tokyo, 1994. - P. 571 - 576.
3. Крестинин А. В. Образование сажевых частиц как процесс химической конденсации полиинов [Текст] / А. В. Крестинин // Химическая физика. - 1998. - Т. 17, № 8. - С. 41-56.
4. Hiroyasu, H. Development and Use of a Spray Combustion Modeling to Predict Diesel Engine Efficiency and Pollutant Emissions (part. 1) / H. Hiroyasu, T. Kadota, M. Arai // Bulletin of the JSME. - 1983. - Vol. 26. - № 214. - P. 569 - 575.
5. Богуславський, Л. З. Свойства углеродных наноматериалов, полученных из газообразного сырья с помощью высокочастотной разрядно-импульсной обработки [Текст] / Л. З. Богуславський, А. Д. Рудь, И. М. Кирьян, Н. С. Назарова, Д. В. Винниченко // Электронная обработка материалов. - 2015. - № 51 (2). - С. 1-7.

УДК 537.529:621.762

*Кускова Н.І.^{1,2}, д-р техн. наук, професор, Кравченко А.С.², Цолин П.Л.², Терехов А.Ю.*¹ *Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Николаев;*² *Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, Николаев*

ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОЙ МЕТОД СИНТЕЗА НАНОДИСПЕРСНЫХ КАРБИДОВ МЕТАЛЛОВ

Карбиды металлов используются в полупроводниковой промышленности, порошковой металлургии, для производства композиционных и керамических материалов с уникальными свойствами. В настоящее время всё большее применение в различных областях науки, промышленности и техники находят нанопорошки карбидов металлов.

Одним из способов получения порошков карбидов металлов является метод электрического взрыва проводников (ЭВП) в жидких и газообразных углеводородах. Недостатком этого подхода является неравномерность реакции карбонизации металла в объеме разрядной камеры. Продукты электрического взрыва содержат только часть карбидов, а полученные карбиды имеют дефицит углерода.

Цель работы – разработка электровзрывного метода синтеза нанодispersных порошков карбидов металлов.

Для получения нанопорошков карбидов в процессе ЭВП предложено использовать углеродные наноматериалы (УНМ) в виде паст, синтезированных методом электроразрядной обработки жидких углеводородов.

ЭВ вольфрамовых и молибденовых проводников проводили на экспериментальном стенде в разрядной камере (см. рис. 1) при различных режимах ввода электроэнергии.

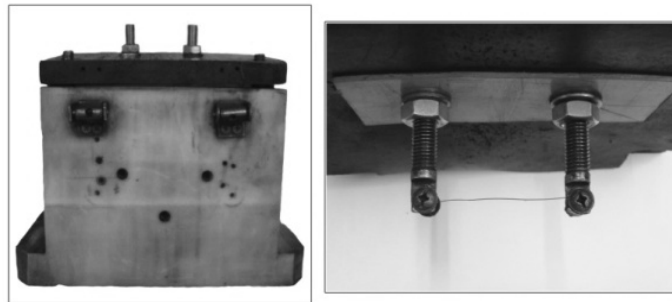


Рис. 1. Разрядная камера для ЭВ металлических проводников

Осциллографирование тока и напряжения в процессе электровзрыва вольфрамовых и молибденовых проводников в пастах при разных величинах запасаемой энергии позволило рассчитать введенные в проводник энергии.

Установлено, что основным фактором, влияющим на фазовый и дисперсный состав синтезированных наноразмерных порошков карбидов, является отношение введенной энергии к энергии сублимации проводника.

Выход насыщенных углеродом фаз и дисперсность карбидов возрастает, а содержание остаточного металла в продуктах взрыва уменьшается с ростом введенной энергии [1, 2].

Показано, что эффективным для синтеза нанопорошков карбидов режимом ЭВП (для проводников диаметром 0,3 мм и длиной 50 мм в пастах, содержащих УНМ), является режим с повторным пробоем без паузы тока, реализуемый при $U_0 = 20$ кВ, $C = 6$ мкФ.

Впервые показано, что электровзрывной метод с использованием паст, содержащих УНМ, позволяет получать порошки, содержащие до 100 % карбидов молибдена или вольфрама. Поэтому можно рекомендовать электровзрывной метод для создания разрядноимпульсной технологии синтеза нанопорошков карбидов металлов.

Список использованных источников:

1. Пат. 95781 Україна, МПК(2015.01) C01B 31/30(2006.01), B82B3/00. Спосіб одержання нанопорошків карбідів тугоплавких металів / Терехов А. Ю., Цолин П. Л., Кускова Н. І., Баклар В. Ю., Зубенко О. О. (Україна); заявник і патентовласник Ін-т імпульсних процесів і технологій НАН України.- № u 201407028; заявл. 23.06.14; опубл. 12.01.2015, Бюл. №1.

2. Цолин П.Л. Синтез нанодispersных порошков карбидов металлов электровзрывным методом с использованием углеродных наноматериалов // Харків: НТУ ХПІ, 2015.

УДК 537.52:542.9:661.66

Кускова Н. И.^{1,2}, д-р техн. наук, професор, Тарасюк М. Н.¹, Гребенников О. И.¹, Челпанов Д. И.²¹ Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова² Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев

РАЗРЯДНОИМПУЛЬСНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

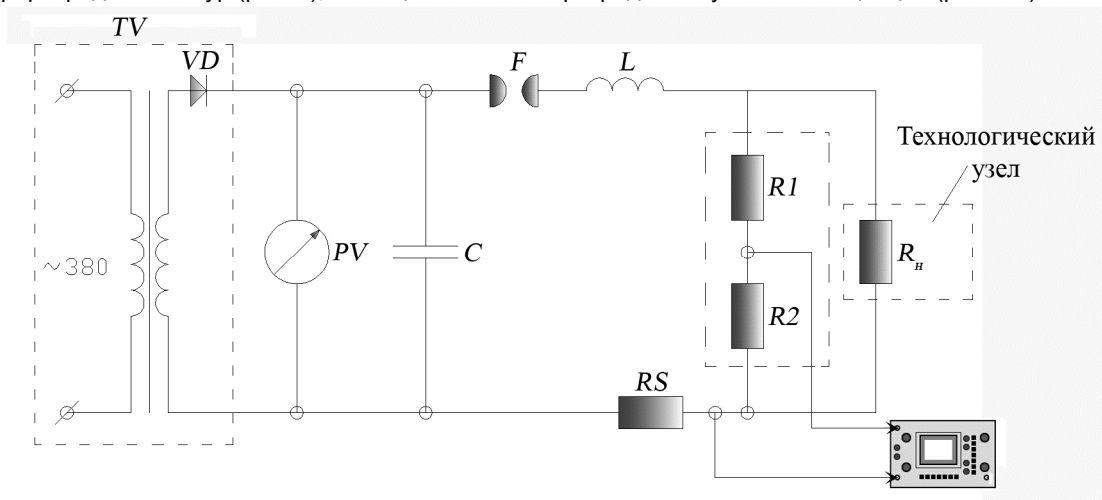
Широкое применение для получения ценных в практическом отношении композитов металлов, карбидов, боридов, нитридов, оксидов и гидридов нашел самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). СВС-метод основан на химических реакциях, протекающих внутри узкой высокотемпературной зоны (от 1000 К до 3000 К), которая инициируется от мощного внешнего источника и распространяется по исходной системе порошков, состоящей из мелкодисперсной фракции окислителя и восстановителя. Не так давно было обнаружено, что СВС-реакции могут также приводить к формированию углеродных наноматериалов (УНМ) и их производных: наночастиц, углерод-инкапсулированных магнитных наночастиц, многослойного графита, нановолокон и нанотрубок, мелкодисперсной углеродной сажи. Условия получения порошка наногуглерода в режиме СВС (инертная атмосфера, высокие температуры, исходное сырье и т.д.) отличаются от промышленных условий производства порошкообразного аморфного углерода, в связи с чем появляется возможность получения иной модификации этого элемента.

В целом СВС-системы относят к категории сложнозажигаемых, поскольку энергия зажигания для них на 1 – 3 порядка выше, чем для взрывчатых веществ, пороха и твердых ракетных топлив. Поэтому в качестве источников зажигания СВС-систем обычно используют: раскаленные; электродуговой разряд; излучение от разряда ксеноновой лампы или лазера; волну горения вспомогательного состава; активные химические агенты.

Нами предлагается использование разрядноимпульсной инициации процесса [1] СВС с целью упрощения конструкции опытной установки при сохранении стабильности поджига смеси и контроля над параметрами процесса СВС.

Целью работы является разработка и конструирование разрядноимпульсной установки СВС УНМ в порошковых смесях на основе алюминия + политетрафторэтилена.

Для реализации процесса разрядноимпульсной инициации СВС нами был разработан соответствующий электроразрядный контур (рис. 1), помещенный в блок разрядноимпульсной инициации (рис. 2 а).



TV – высоковольтный трансформатор с выпрямителем VD ; PV – киловольтметр; C – батарея конденсаторов; F – управляемый воздушный разрядник; L – катушка индуктивности; RS – измерительный шунт; $R1, R2$ – делитель напряжения; R_n – иницирующая проволока

Рис. 1. Электроразрядный контур для иницирования СВС

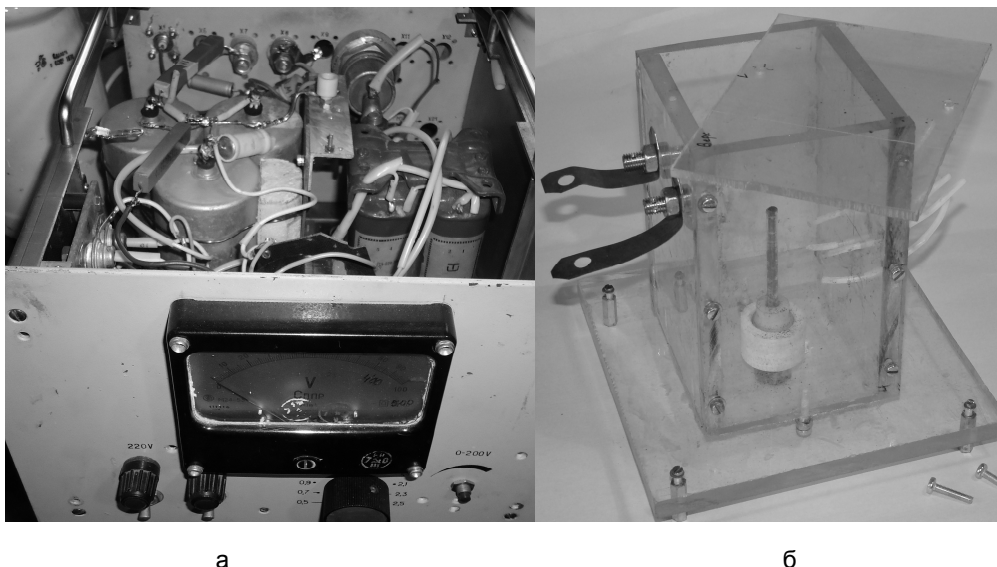


Рис. 2. Установка СВС УНМ: блок разрядноимпульсной инициации (а) и технологический узел (б)

Разработанный для реализации процесса СВС УНМ технологический узел (рис. 2б) имеет в основе следующий принцип работы: подготовленную из порошковых реагентов шихту (спрессованную до определенной плотности или помещенную в капсулу) располагают в специальной ячейке, после чего к торцу образца подводят до точечного контакта иницирующую спираль (вольфрамовую или нихромовую проволоку, предварительно закрепленную в токоведущих электродах). Далее камера с образцом герметично закрывается и заполняется дистиллированной водой через подводящую трубку. После успешной инициации и окончания СВС процесса, камеру раскрывают, капсулу извлекают из ячейки и, в случае продолжения эксперимента, устанавливают новый образец.

После окончания эксперимента, воду с содержащимся в ней получаемым продуктом сливают и фильтруют на вакуум-фильтровальной установке, после чего нанопорошок собирают и просушивают. Далее проводят экстракцию фуллеренов.

Выводы. Использование разрядноимпульсного контура позволяет производить зажигание процессов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в системах порошков на основе алюминия + политетрафторэтилена.

По результатам теоретических расчётов параметров инициации СВС, была разработана и сконструирована лабораторная установка, которая позволила реализовать процесс СВС УНМ в системах порошков на основе алюминия + политетрафторэтилена. Результаты теоретических расчетов параметров зажигания СВС были подтверждены экспериментально.

Результаты проведенного рентгенофазового анализа показали, что большая часть исходных порошков вступила в СВС-реакцию с образованием углеродных наноматериалов.

Список использованных источников:

1. Челпанов, Д. И. Разрядноимпульсная инициация процессов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в некоторых порошковых системах / Д.И. Челпанов, Н.И. Кускова, А.А. Смалько // Вісник НТУ «ХПІ». Сер. Техніка та електрофізика високих напруг: зб. наук. праць. – 2015. – № 51. – С. 115-120.

УДК 537.242:532.528

Малюшевская А.П., канд. техн. наук, доцент, Малюшевский П.П., канд. техн. наук, доцент
Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, г. Николаев

РЕГУЛИРОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ НЕЛИНЕЙНОЙ ОБЪЕМНОЙ КАВИТАЦИИ В ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫХ ПРОЦЕССАХ

Кавитация в электроразрядных реакторах возбуждается при отражении первичных волн давления, генерируемых электрическим разрядом в рабочей жидкости, от свободной поверхности жидкости в реакторе и его стенок. Известно, что возникновение, развитие и интенсивность нелинейной объемной кавитации при электрических разрядах в жидкости сильно зависит (при идентичных электрических параметрах разрядного контура) от геометрии разрядного объема, конфигурации разрядного реактора и свободной поверхности жидкости в нём; жесткости конструкции реактора, величины внешнего статического давления. Как правило, условный радиус эффективных в отношении кавитации электроразрядных реакторов составляет 2-3 радиуса

послеразрядной полости (от 75 до 100 мм). Если же необходимо обрабатывать значительные объёмы материалов в больших количествах рабочей жидкости, то все ограничивающие разрядную зону отражающие поверхности приходится располагать на значительных расстояниях (5-10 и более радиусов послеразрядной полости), интенсивность электроразрядной кавитации при этом значительно снижается.

Актуальным является поиск путей обеспечения интенсивной электроразрядной кавитации в больших открытых объёмах рабочей жидкости. Один из самых доступных путей достижения такой цели – использование сходящихся волн давления, генерируемых в области подводного электроразряда.

Выполнено исследование процессов генерирования кавитационной области в свободном объёме жидкости при взаимодействии двух послеразрядных полостей. Полости создавались параллельно осуществляемыми разрядами. Разрядные промежутки предварительно замыкались медной проволокой диаметром 5 мкм, расстояние между электродами 100 мм, электроды диаметром 3 мм изготавливались из титановой проволоки и, помимо основного назначения, выполняли роль индикатора возникновения пониженного давления (появления растягивающих напряжений в воде), отклоняясь в сторону области такого давления. Все стадии генезиса параллельных электрических разрядов в воде регистрировались высокоскоростной фотоустановкой ВФУ-1.

При исследовании процесса развития кавитационной области, порожденной двумя взаимодействующими параллельными разрядами, разряды производили или строго синхронно ($\Delta t = 0$) или смещали начало одного из них на очень короткий промежуток времени ($\Delta t = 2$ мкс). В первом случае послеразрядные парогазовые полости развиваются симметрично и в стадии активного роста мало влияют друг на друга. Их формы не меняются, остаются правильными, поле давлений в пространстве между электродами остаётся симметричным вплоть до достижения парогазовыми полостями максимальных своих размеров. Как только начинается схлопывание (коллапс) послеразрядных полостей, в воде между параллельными электродами возникает зона пониженного давления, и строго между электродами возникает и развивается кавитационная область. Индекс кавитации в этом случае весьма велик $K \approx 0,7$. Даже небольшая несинхронность параллельных ($\Delta t = 2$ мкс) разрядов вызывает очевидную несимметричность развития кавитационной области, хотя её объём, а также индекс кавитации мало изменяются. Время существования зоны пониженного давления заметно меньше (3,84 мс против 8,96 мс при строгой синхронности).

При разрядах, электрические параметры которых соответствуют описанным выше, а начало одного из них задержано на значительный промежуток времени ($\Delta t = 8$ мкс), резкое различие в размерах послеразрядных полостей приводит к несимметричному коллапсу, малому понижению давления в пространстве между электродами и, соответственно, к несимметричной по форме кавитационной области со значительно меньшим индексом кавитации ($K \approx 0,2$), к тому же, быстро распадающейся. При уменьшении рабочего напряжения в 1,4 раза, даже при строгой синхронности параллельных разрядов снижается величина растягивающих напряжений в пространстве между электродами, уменьшается объём кавитационной области и интенсивность кавитации (индекс кавитации $K \approx 0,4$).

В то же время, даже хорошо развивающийся подводный одиночный разряд в аналогичной электродной системе не приводит к возбуждению заметной кавитационной области. Возникает лишь небольшая кавитация у оконечности электрода после захлопывания послеразрядной полусферы, индекс кавитации в этом случае составляет $K \approx 0,05$. В случае наличия вблизи одиночного подводного разряда полой, твёрдой полусферы с размерами, равными усреднённым размерам послеразрядной полости параллельного разряда, кавитационная картина существенно отличается. При достаточно быстром расширении послеразрядной полости расходящиеся потоки жидкости не вызывают кавитации у твёрдой полусферы. Это связано с тем, что в этих потоках жидкость находится в сжатом состоянии, в ней отсутствуют растягивающие напряжения.

УДК 621.983.044.4

Сизоненко О. Н.^{1,2}, д-р техн. наук проф.; Сакович В. С.²

¹ Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, Миколаїв;

² Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв

ШТАМПОВКА МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ЕФЕКТУ

Розвиток нової техніки вимагає застосування науково розроблених технологічних процесів, що забезпечують отримання виробів максимальної якості та мінімальної ваги. Серед процесів обробки матеріалів тиском гаряча об'ємна штампування характеризується найбільшою складністю і нерівномірністю деформаційних процесів з огляду на розкиду величин поперечного перерізу різних ділянок поковки і великої накопиченої в процесі нагрівання енергії металу. Нерівномірність провокує локалізацію деформаційних процесів, як наслідок, картина оптимальної деформаційного опрацювання металу поковки може відрізнитися від заданої і не

відповідати профілю чистової деталі. Тому все частіше використовую штамповку деталей з використанням електрогідравлічного ефекту(ЕГЕ).

Мета роботи: виконати аналіз методів штамповки та переваги штамповки з використанням ЕГЕ.

Виготовлення деталей звичайним пресовим методом має поряд з деякими перевагам істотні недоліки:

- необхідність у дорогому пресовому устаткуванні високої точності й потужності (зусилля порядку 15 тис. тон.);

- складність і висока точність оснащення;

- низька якість виробів у зв'язку з наявністю пружних деформацій.

Що стосується вибухового штампування, то йому абсолютно не властиві недоліки пресового способу, однак, воно вимагає будівництва спеціальних ділянок, розташованих далеко від будов і дотримання спеціальних правил техніки безпеки.

Аналізуючи вище вказане, виникають вимоги до методу, який дозволить штампувати деталі з різних матеріалів без ушкодження при незначних витратах. Одним із таких методів є електрогідравлічне штампування.

У сучасній імпульсній техніці обробки матеріалів електричний розряд у рідині часто відіграє роль основного діючого механізму в різних технологічних процесах. З усього складного комплексу явищ, що виникають при електричному розряді в рідині, частіше всього у технології використовується трансформація електричної енергії в енергію ударних хвиль. Відмінною рисою цього процесу є те, що перетворення електричної енергії в механічну відбувається без проміжних ланок. При подачі високої напруги на розрядний проміжок, який звичайно представляється у вигляді двох електродів, відбувається його пробій, що супроводжується утворенням струмопровідного каналу, який починається з утворення декількох або цілої серії зростаючих лідерів. Після цього починається друга основна стадія розряду, у якій відбувається виділення більшої частини енергії, запасеної в накопичувачі. Під дією струму, що протікає, розряду великої щільності й завдяки малій стискальності рідини тиск у каналі розряду, отриманого в результаті замикання електродів лідером, росте й може досягати десятків тисяч атмосфер. Завдяки високому тиску й швидкому розширенню іскрового каналу формується ударна хвиля. Одночасно із цим канал розряду, що розширюється, приводить у рух навколишню рідину, створюючи так званий запізнений потік, що сприяє розвитку газової порожнини. Природно, якщо на невеликій відстані від каналу помістити перешкоду (оброблювану деталь), то під дією цих факторів вона буде деформуватися.

Електрогідравлічне штампування має наступні переваги:

- немає необхідності в придбанні й монтажі дорогого пресового устаткування;

- значно зменшуються витрати на технологічну оснастку, що складається тільки з матриці;

- виключається можливість ушкодження матриці пуансоном;

- є можливість формування деталей складної конфігурації більших розмірів;

- простота й точність регулювання;

- можливість проводити розряди один за іншим, що особливо важливо в тих випадках, коли для формування потрібно кілька розрядів.

Електрогідравлічні установки для штампування, маючи велику потужність в імпульсі, допускають регулювання тривалості цього імпульсу, що сприятливо позначається при штампуванні деталей різного профілю.

Перелік використаних джерел:

1. Малюшевский П.П. Основы разрядно-импульсной технологии. – Киев:Наук. Думка, 1983.-272с.
2. Кривицкий, Е.В. Динамика электровзрыва в жидкости / Е.В. Кривицкий Киев.Наукова думка. - 1986. - 204 с.
3. Мазуровский Б.Я. Электрогидравлический эффект в листовой штамповке / Б.Я. Мазуровский, А.Н. Сизев. - Киев: Наукова думка, 1983. - 193 с.

УДК 621.745.56:621.3.014

Цуркин В. Н.^{1,2}, канд. техн. наук, доцент, Череповский С. С.¹, Байда И. В.²

¹Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев

²Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев

ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСНЫХ ТОКОВ ДЛЯ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА СИЛУМИНОВ

Для обеспечения постоянно растущих требований к качеству литых деталей необходимо совершенствовать существующие и создавать новые литейные технологии. Решение этой задачи во многом определяет технологический прогресс во всех отраслях машиностроения.

В настоящее время на предприятиях машиностроительной отрасли существуют проблемы, связанные с качеством отливок ответственного назначения из алюминиевых сплавов пониженные механиче-

ские свойства, высокий литейный брак по металлургическим и литейным дефектам и т.д. Основными дефектами в отливках являются пористость, усадочные рыхлоты и газовые раковины, загрязненность сплава неметаллическими включениями и многие другие.

Основными преимуществами МИО является скорость нагружения и удобство обработки расплава, экономичность (сравнительно низкие энергетические затраты, уменьшение массы прибыли), надежность и простота технологического узла.

Таким образом, исследование влияния обработки расплавов ИМП на структуру и свойства алюминиево-кремниевых сплавов является актуальной задачей, как в общенаучном, так и в прикладном аспектах.

1. Одним из способов, направленных на повышение показателей качества литых деталей, является магнитно-импульсная обработка (МИО) расплава [1-4]. Физический принцип МИО основан на генерировании в расплаве через разряд на индуктор мощного импульсного магнитного поля [5], силовое действие которого и обеспечивает благоприятную перестройку структуры расплава. 2. Основной проблемой, которая сдерживает широкое внедрение МИО в технологические процессы литейного производства, являются высокие энергозатраты. Это вызвано тем, что генератор импульсных токов (ГИТ) для МИО расплава взят по аналогии из технологий обработки материалов давлением [2, 4].

Цель работы: определить параметры ГИТ для МИО расплава с пониженными показателями энергозатрат.

В работе [6] показано, что силовое воздействие на расплав при МИО в значительной степени определяется частотой следования разрядных импульсов и периодом разрядного тока.

Это позволило выделить следующие параметры ГИТ.

Напряжение разрядного тока $U_0 = 30$ кВ;

Емкость конденсаторов $C = 1$ мкФ;

Частота следования импульсов $f = 6$ Гц;

Период разрядного тока $T = 10$ мкс.

На основе этих параметров спроектирован ГИТ с потребляемой мощностью до 5 кВт.

Разработана его компоновка, учитывающая размещения оборудования в литейном цехе.

Список использованных источников:

1. Батигін Ю. В., Лавінський В. І. Імпульсні магнітні поля для прогресивних технологій. - Харків: НТУ «ХПІ». - 2001. - Т.1. - 273 с.
2. Черников Д. Г. Исследование влияния обработки расплавов импульсным магнитным полем высокой напряженности на структуру и свойства алюминиево-кремниевых сплавов. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. - Самара. - 2011. - 26 с.
3. Kiran S. Bhole, Kale B. S., Deshmukh P. D., Sonare O. G. Numerical Analysis and Investigation of Aluminum Electromagnetic Metal Forming Process// IJTES. - 2011. - 2(1). - P. 98-102.
4. Черников Д. Г., Глущенко В. А., Никитин В. И., Никитин К. В. Совершенствование способа магнитно-импульсной обработки алюминиевых расплавов// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2014. - №16(6).
5. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. - М.: Мир. - 1972. - 382 с.
6. Череповский С. С. Управляющие параметры магнитно-импульсной обработки расплава/ С. С. Череповский//Металл и литье Украины.-2014. -№.12.- С. 32-33.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1. АВТОМАТИКА, ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ І ПРИСТРОЇ.....	4
<i>Білюк І. С., Бугрім Л. І., Курган А. В.</i> Оптимальне керування процесом гарячого цинкування	4
<i>Шмигельська І. В., Скакодуб О. С., Козлов О. В.</i> Комплекс задач автоматичного керування технологічним процесом безперервного піролізу цілих зношених автомобільних шин.....	4
СЕКЦІЯ 2. ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД.....	7
<i>Гуров А. П., Неустров Р. О.</i> Моделювання плоских коливань вібраційної установки з електромагнітним приводом	7
<i>Вінниченко І. Л.</i> Алгоритм керування перетворювачем частоти зі зниженим коефіцієнтом гармонік вихідної напруги.....	9
<i>Покровский М. В., Дьячков Ю. М.</i> Релейное управление последовательно-параллельным преобразователем.....	11
<i>Черно О. О., Поляков О. В., Топалов А. М.</i> Технічна реалізація мікропроцесорної системи керування електромагнітним вібраційним приводом.....	13
<i>Шарейко Д. Ю., Білюк І. С., Фоменко А. М., Савченко О. В.</i> Слідкувальна система на основі п'єзоелектричного двигуна	15
<i>Хлопенко Н. Я., Гаврилов С. А.</i> Робастное управление электроприводом пылепитателя	17
СЕКЦІЯ 3. ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ І АПАРАТИ.....	20
<i>Авдеева О. А., Ильишин В. О.</i> Віртуальна проектна модернізація трансформатора ТСЗМ-40-74 ОМ5	20
<i>Мазоловський В. П.</i> Перспективи використання утилізаційних парових турбогенераторів на низькокиплячих робочих тілах у складі суднових дизель-генераторних агрегатів	21
<i>Моргул В. І.</i> Регулювання напруги асинхронного генератора зміною підмагнічування магнітопроводу реактора	23
<i>Новогрещкий С. Н., Прудников А. А.</i> Гармонический состав тока основной обмотки трехфазного реактора при поперечном подмагничивании магнитопровода	25
<i>Пальчиков О. О.</i> Снижение и рациональное использование отходов электротехнической стали при производстве магнитопроводов асинхронных двигателей	28
<i>Подымака В. И.</i> Достоверность измерений и повторяемость результатов при испытаниях автоматических выключателей	30
СЕКЦІЯ 4. ПІДВОДНА ТЕХНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЇ.....	33
<i>Блінцов О. В., Корицький В. І.</i> Особливості керування самохідною прив'язною підводною технологічною платформою	33
<i>Войтасик А. М.</i> Розробка електричної принципової схеми системи автономного енергоживлення вантажного самохідного підводного носія	34
<i>Войтасик А. М.</i> Розробка структурної схеми системи енергозабезпечення лебідки радіогідроакустичного буя	37
<i>Грудініна Г. С.</i> Завдання дослідження роботи гребного гвинта підводного апарата у косому потоці як об'єкта керування	40
<i>Клочков О. П., Бабур О. С.</i> Виконання підводної комутації прив'язного підводного апарата.....	42
<i>Ольшевский С. И.</i> Получение аппроксимационных зависимостей для реализации системы управления движителем исследовательской модели	43
<i>Сірівчук А. С.</i> Сучасні засоби проведення підводного моніторингу.....	45
СЕКЦІЯ 5. ІМПУЛЬСНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ.....	47

<i>Богуслаєвський Л. З., Назарова Н. С., Овчиннікова Л. Є., Козирев С. С.</i> Аналіз моделей електророзрядного синтезу вуглецевих наноматеріалів.....	47
<i>Кускова Н. И., Кравченко А. С., Цолин П. Л., Терехов А. Ю.</i> Электровзрывной метод синтеза нанодисперсных карбидов металлов	48
<i>Кускова Н. И., Тарасюк М. Н., Гребенников О. И., Челпанов Д. И.</i> Разрядноимпульсная установка для реализации самораспространяющегося высокотемпературного синтеза углеродных наноматериалов.....	49
<i>Малюшевская А. П., Малюшевский П. П.</i> Регулирование интенсивности нелинейной объемной кавитации в электроразрядных процессах.....	50
<i>Сизоненко О. Н., Сакович В. С.</i> Штамповка матеріалів з використання електрогідравлічного ефекту.....	51
<i>Цуркин В. Н., Череповский С. С., Байда И. В.</i> Генератор импульсных токов для магнитно-импульсной обработки расплава силуминов	52

ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ АВТОРІВ

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ



Згідно з бюлетенем ВАК України № 12 від 2009 року (с. 5); № 5 від 2010 року (с. 15); № 6 від 2010 року (с. 13) електронне видання «Вісник НУК» внесене до переліку електронних наукових фахових видань.

Видання виходить до 6 разів на рік в електронному вигляді та 1 раз на рік — у друкованому.

Матеріали, опубліковані у «Віснику НУК», зараховуються як фахові у галузях технічних та економічних наук.

Видання містить статті з результатами досліджень за групами спеціальностей: кораблебудування; обробка матеріалів у машинобудуванні; галузеве машинобудування; електротехніка; інформатика; обчислювальна техніка та автоматизація; техногенна безпека; енергетика; машинобудування; економіка та управління підприємствами.

<http://ev.nuos.edu.ua>

Для подання статті необхідні:

- експертний висновок про можливість опублікування;
- протокол засідання експертної комісії;
- витяг із протоколу засідання кафедри;
- рецензія на статтю;
- відомості про авторів (анкета автора);
- 2 примірники роздрукованої статті на папері формату А4;
- електронний варіант статті.

Статті приймаються за адресою:

каб. 551, просп. Героїв Сталінграда, 9,
м. Миколаїв, 54025

тел.: (+380512) 42-32-71

e-mail: ev@nuos.edu.ua

Контактна особа:

Крива Маргарита Сергіївна

Мова збірника: українська, російська,
англійська

Наукове видання

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ – 2016

ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

21-22 квітня 2016 року

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

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

(українською, російською і англійською мовами)

Відповідальний за випуск: О. О. Черно
Комп'ютерна верстка: І. Л. Вінниченко
Макетування: А. Д. Літвінова

Формат 60×84/8 Ум. друк. арк.7,0. Тираж 100. Зам. № 49
Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
проспект Героїв Сталінграда, 9, м. Миколаїв, 54025
E-mail: publishing@nuos.edu.ua

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