

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
КОМПАНІЯ «АМІКО ГРУПП»
ПІВДЕННИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ
МОРСЬКЕ ІНЖЕНЕРНЕ БЮРО
АТ «ЗАВОД «ЕКВАТОР»
ГОЛОВНЕ УПРАВЛІННЯ ДЕРЖАВНОЇ СЛУЖБИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ УКРАЇНИ
У МИКОЛАЇВСЬКІЙ ОБЛАСТІ
ДП «ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ ЦЕНТР КОРАБЛЕБУДУВАННЯ»
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ»
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРБІНСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (КИТАЙ)
УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ М. ЦЗЯНСУ (КИТАЙ)
ГДАНСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)
ЗАХІДНО-ПОМЕРАНСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)
КОШАЛІНСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)
БАТУМСЬКИЙ НАВЧАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАВІГАЦІЇ (ГРУЗІЯ)

ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ ТА ОКЕАНОТЕХНІЦІ

МАТЕРІАЛИ

IX міжнародної науково-технічної конференції

18 – 19 жовтня 2018 р.

*Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9 м. Миколаїв*

Миколаїв, НУК, 2018

Король Ю.М., Санжаревская Н.Г. Использование многопараметрической математической модели для определения буксировочного сопротивления в задачах оптимального проектирования судов.....	320
Уваров В.А., Авдюнін Р.Ю., Єложенко О.О. Устрій та спосіб підвищення контактної-кавітаційної стійкості гребних гвинтів.....	321
Кривошеков В.Е. «Человеческий фактор», который везде, всегда и во всём.....	321

Секція № 8. ІННОВАЦІЇ В СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ ТА АВТОМАТИЦІ

Блінцов В.С., Білюк І.С. Сучасний стан та перспективи створення хвильових електростанцій.....	323
Павлов Г.В., Вінниченко І.Л., Покровський М.В. Експериментальні випробування резонансного перетворювача частоти з часо-імпульсним керуванням.....	324
Білюк І.С., Шарейко Д.Ю., Фоменко А.М., Савченко О.В., Борсук В.В. Проблеми бездатчикових електроприводів.....	326
Блінцов О.В., Соколов В.В. Імітаційна модель динаміки просторового руху безекіпажної підводної буксированої системи як об'єкта керування.....	328
Блінцов О.В., Корицький В.І. Автоматичне керування прив'язним підводним апаратом з чотирма керованими ступенями рухливості.....	331
Бугрим Л.І., Шарейко Д.Ю., Фоменко А.М., Савченко О.В., Швець С.М. Коригування глибокорегульованих електроприводів постійного струму.....	333
Бугрим Л.І., Шарейко Д.Ю., Ставинський Р.А., Савченко О.В., Горностай Л.О. Підвищення ефективності електроприводів з двигунами подвійного живлення.....	336
Гаєрилов С.О., Білюк І.С., Бугрим Л.І. Особливості сучасної практичної підготовки фахівців-електромеханіків в Національному університеті кораблебудування ім. адм. Макарова.....	338
Гаєрилов С.О., Шарейко Д.Ю., Фоменко А.М., Савченко О.В., Богаченко М.Ю. Стабілізація нелінійних електроприводів.....	340
Авдєєва О.А., Ванат Д.Б. Аналіз способів енергоресурсозбереження в насосних агрегатах.....	342
Надточий А.В., Надточій І.І., Мошенський Є.А. Автоматичні вітрильні установки для безекіпажних надводних суден.....	345
Надточий А.В., Удод С.В., Міхєєнко В.В. Проблеми створення Li – акумуляторних батарей великої потужності.....	346
Надточій В.А., Магріпов А.В., Тулінов Д.С. Безредукторний електропривод.....	347
Надточій В.А., Крохмаренко О.О., Німас С.С. Стенд для дослідження безредукторного електропривода.....	349
Алоба Лео Тосин. Разработка специализированного моделирующего комплекса для исследования управляемого движения группы АНПА.....	352
Новогрєцький С.Н., Старушкин А.А. Обеспечение заданной степени статической устойчивости работы синхронного генератора на мощную сеть.....	355
Пальчиков О.О. Моделирование работы синхронного генератора на сеть бесконечной мощности.....	356
Подымака В.И., Солдатов С.В. Бесщеточный синхронный генератор продольно-поперечного возбуждения.....	357
Савченко О.В., Білюк І.С., Фоменко А.М., Шарейко Д.Ю., Ольшевський С.І. Блок живлення лабораторного стенда.....	358
Савченко О.В., Білюк І.С., Фоменко А.М., Шарейко Д.Ю., Ольшевський С.І. Система керування кроковими двигунами промислових роботів.....	360
Білюк І.С., Шарейко Д.Ю., Фоменко А.М., Савченко О.В., Різник В.О. Нечітке керування електроприводів камер спостереження.....	361
Шевченко М.В. Аналіз недоліків керування суднових електроенергетичних систем та шляхи їх подолання.....	363
Сірієчук А.С. Розробка математичної моделі руху автономного підводного апарата з радіобуєм.....	366
Войтасик А.М. Натурні випробування електрорушійного комплексу макету вантажного самохідного підводного носія.....	368

($L_f = 1,71$ мГн; $C_{r1} = 33$ нФ; $C_{r2} = 100$ нФ; $U_s / 2 = 200$ В; $L_f = 0,16$ мГн; $C_f = 10$ мкФ; $R_{out} = 1,4$ Ом; $L_{out} = 6,8$ мГн)

Для отримання осцилограм в якості датчика струму використовувався трансформатор струму AS-100 1:50 із навантажувальним резистором 25 Ом, а для масштабування напруги використовувався подільник напруги із коефіцієнтом масштабування 1:60.

На рис. 2, б зображено сімейство зовнішніх характеристик перетворювача частоти, отриманих в результаті розрахунків відповідно до математичної моделі (1), та отриманих в результаті випробувань експериментального зразка (2). Результати, отримані під час експериментальних випробувань ПЧ, показують хорошу збіжність з теоретичними. Завдяки роботі адаптивної системи керування подовжено робочий (жорсткий) діапазон зовнішньої характеристики, про що свідчать експериментально отримані точки зовнішньої характеристики.

Таким чином, перетворювач частоти формує вихідну низькочастотну напругу із амплітудою $U_{out,m} = 90$ В та частотою 100 Гц. Амплітуда вихідного струму $I_{out,m} = 20$ А. Експериментальні випробування перетворювача частоти із адаптивною системою керування показали адекватність його роботи та продемонстрували розширення робочого діапазону зовнішньої характеристики на 10%.

Завдяки запропонованому керуванню перетворювачем частоти на основі резонансного інвертора вдалося досягти позитивних результатів у підвищенні ефективності перетворювача та покращенні його електромагнітної сумісності із оточуючими пристроями та мережею живлення. Жорсткість зовнішньої характеристики перетворювача та запропоноване в даній роботі адаптивне керування дозволяють утримувати бажану вихідну синусоїдальну напругу при зміні навантаження в широкому діапазоні.

Розроблений закон часо-імпульсного керування резонансним інвертором дозволяє забезпечити глибоке регулювання вихідної напруги перетворювача з мінімальними комутаційними втратами і жорсткою зовнішньою характеристикою в її робочому діапазоні. Крім того, формат розробленого закону керування дозволяє в реальному часі змінювати як частоту, так і амплітуду вихідної напруги, задаючи їх бажані величини, які після встановлення впливають лише на відносну частоту перетворювача $k_f = f_{out}/f_r$ та відносну напругу $k_u = (2U_{out})/U_s$, що фігурують в законі керування, та не впливають на характер закону. При зміні коефіцієнтів вже на наступному кроці алгоритму роботи перетворювача відбудуться зміни вихідної напруги. Це перевірено за допомогою експериментального зразка перетворювача, для якого програмно задано по закінченню повного періоду вихідної синусоїдальної напруги здійснювати зміну її частоти в наступній послідовності: 20 Гц, 30 Гц, 40 Гц, 50 Гц, 60 Гц, 100 Гц. На рисунку 2, е представлено осцилограму напруги на навантаженні перетворювача при миттєвій зміні вихідної частоти ПЧ в заданій послідовності при активному навантаженні.

В даному перетворювачі частоти використовується програмне регулювання амплітуди та частоти вихідної напруги, що дозволяє здійснювати керування без підстроювання опорної напруги та використання зворотного зв'язку по напрузі. А завдяки зворотному зв'язку по струму система керування може визначити положення поточної робочої точки зовнішньої характеристики перетворювача. Це робить реальною можливість використання даного перетворювача в традиційних додатках застосування перетворювачів частоти, зокрема для пуску та гальмування двигунів змінного струму.

Література

1. Григораш О.В. Преобразователи частоты с улучшенными техническими характеристиками [Текст] / О.В. Григораш, Е.А. Денисенко, П.Г. Корзенков, А.В. Бондарчук // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2016. – № 115. – сс. 1 – 13.
2. Павлов Г.В. Адаптивна система керування перетворювачем частоти на основі резонансного інвертора з нелінійним регулюванням [Текст] / Г.В. Павлов, І.Л. Вінниченко, М.В. Покровський // Технічна електродинаміка, 2018 – № 5. – сс. 39-43.

УДК 681.5

ПРОБЛЕМИ БЕЗДАТЧИКОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Білюк Іван Сергійович, Шарейко Дмитро Юрійович, Фоменко Андрій Миколайович, Савченко Олег Валерійович, Борсук Вячеслав Васильович.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Завдання побудови високоякісного асинхронного електропривода з векторним керуванням без використання будь-яких датчиків, розміщених на валу або вбудованих у двигун, постійно привертає увагу розробників з моменту появи самого терміна «векторне керування» стосовно асинхронного двигуна на

початку 1970-х років. Область застосування таких електроприводів визначається наступними умовами: механізм висуває підвищені вимоги до швидкодії привода; в приводі потрібне регулювання електромагнітного моменту на валу двигуна; не потрібна висока статична точність і широкий діапазон регулювання швидкості (діапазон не більше 100); встановлення датчика швидкості на вал двигуна неможлива за умовами експлуатації, технологічним, вартісним або іншим обмеженням. Типовими об'єктами є електроприводи (ЕП) підйомно-транспортних засобів, механізмів намотування, екструдерів, працюючих в пожежонебезпечних, вибухонебезпечних, хімічно і радіоактивних середовищах, в умовах підвищених вібрацій і ударних механічних навантажень. На рисунку 1 наведена структурна схема бездатчикового електропривода змінного струму.

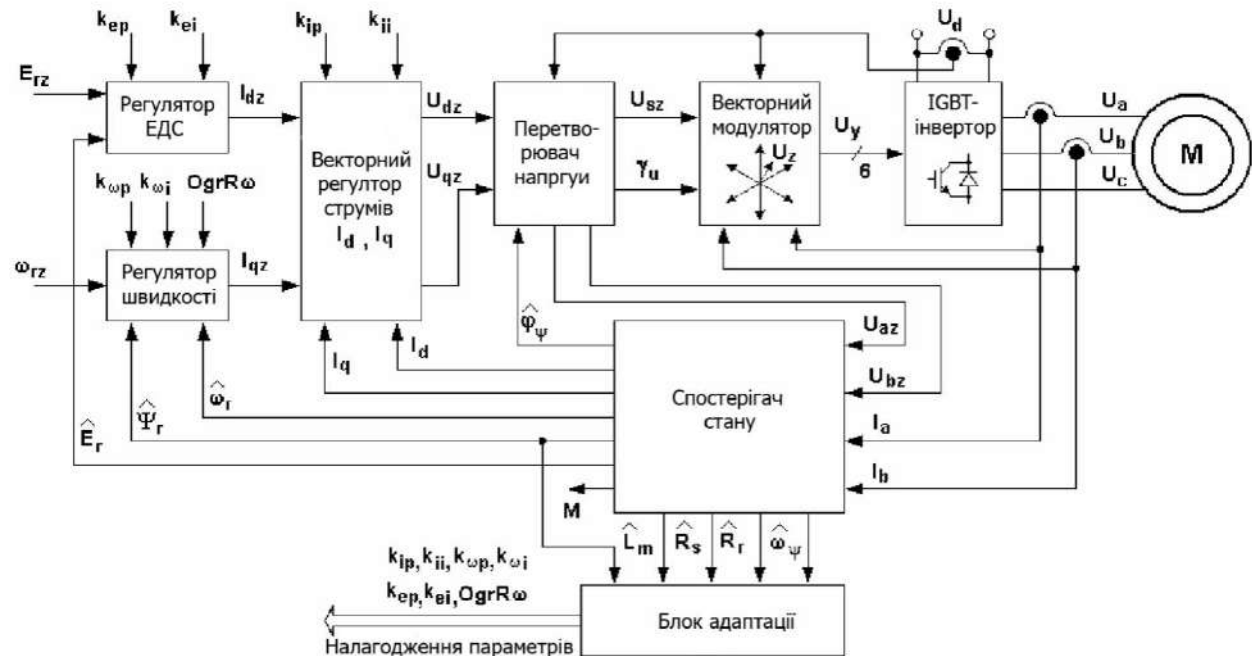


Рисунок 1 Структурна схема електроприводу

Векторний модулятор реалізує «трикутний» алгоритм просторово-векторного формування вихідної напруги IGBT-інвертора з функцією компенсації «мертвого часу» і затримок переключення силових ключів. Спостерігач стану реалізує обчислення всіх змінних і параметрів двигуна, необхідних для реалізації алгоритму адаптивно-векторного керування, за інформацією про двох фазних струмах статора і двох заданих значеннях фазних напруг. Блок адаптації виконує перерахунок параметрів регуляторів системи керування в залежності від відхилення параметрів двигуна, що проявляється в процесі роботи двигуна.

Аналіз представлених діаграм і інших результатів дослідження чутливості дозволяє зробити наступні висновки:

- найбільш чутливий електропривод до зміни активного опору статора, яке відчутно впливає як на статичні, так і динамічні характеристики. Чутливість до зміни R_s є функцією швидкості і навантаження.

Найбільш сильного впливу схильні характеристики приводу в області малих частот (**менше**), аж до втрати працездатності, що виявляється у виникненні автоколивального режиму роботи з великими пульсаціями змінних. Зокрема, при $\tilde{R}_s = 1,2R_s$, електропривод з двигуном 4A112MA6Y3 втрачає працездатність на швидкостях, менших 0,05;

- зміна активного опору ротора впливає на статичну помилку у швидкості і не впливає на точність орієнтації системи за вектором потокозчеплення ротора і на динамічні характеристики приводу. Статична помилка у швидкості є функцією навантаження і не залежить від рівня швидкості;

- зміна взаємної індуктивності незначно позначається на орієнтації та динамічних характеристиках приводу при роботі на швидкостях, менших номінальної. Статична помилка в швидкості зростає з ростом навантаження і при роботі з постійним потокозчеплення ротора не залежить від рівня швидкості. Чутливість приводу до зміни L_m істотно зростає на швидкості, що перевищує номінальну, аж до відмови сприймати завдання за швидкістю вище певного рівня. Зокрема, при $L_m = 0,9L_m$ електропривод з двигуном 4A112MA6Y3 не розганяється вище;

- зміна індуктивностей розсіювання у зв'язку з насиченням зубцевої зони двигуна потоками розсіювання помітним чином проявляється при кратностях струму статора, що перевищують (2-3) від

номінального значення і, як правило, не перевищує 30 %-ого зниження щодо свого ненасиченого значення, навіть при струмах прямого пуску двигунів на номінальну напругу. Результати моделювання та експерименту показали, що 50 %-ві зміни σL_s , не впливають суттєво на характеристики привода;

- дослідження чутливості електроприводу до величини «мертвої зони» перемикання транзисторів інвертора показали, що у разі коректної параметричної настройки приводу саме наявність «мертвої зони» є чинником, що обмежує діапазон регулювання приводу вниз від номінальної швидкості. Це проявляється у зростанні на малих швидкостях низькочастотних (шестикратних по відношенню до періоду основної гармоніки) пульсацій в швидкості і в електромагнітних змінних приводу. Величина цих пульсацій зростає із збільшенням частоти модуляції і величини «мертвої зони». Причина пульсацій полягає у відхиленні реальної напруги статора від його заданого значення, сформованого без урахування тимчасових затримок перемикання ключів інвертора;

- введення в привід алгоритмів адаптації до R_s, R_r, L_m і компенсації затримок перемикання ключів інвертора дозволяє істотно поліпшити його характеристики, а саме: знизити чутливість до зміни параметрів в процесі роботи, розширити діапазон регулювання швидкості як вниз, так і вгору від номінального, знизити рівень пульсацій змінних на малих швидкостях. Дослідження чутливості електроприводу до величини «мертвої зони» перемикання транзисторів інвертора показали, що у разі коректної параметричного налагодження приводу саме наявність «мертвої зони» є чинником, що обмежує діапазон регулювання приводу вниз від номінальної швидкості. Це проявляється у зростанні на малих швидкостях низькочастотних (шестикратних по відношенню до періоду основної гармоніки) пульсацій в швидкості і в електромагнітних змінних приводу. Величина цих пульсацій зростає із збільшенням частоти модуляції і величини «мертвої зони». Причина пульсацій полягає у відхиленні реальної напруги статора від його заданого значення, сформованого без урахування тимчасових затримок перемикання ключів інвертора. Так як розрахунок змінних приводу виконується на основі заданої напруги статора, то ця помилка проявляється у всіх обчислених змінних.

Література

1. **Виноградов А.Б.** Адаптивная система векторного управления асинхронным электроприводом / Виноградов А. Б., Чистосердов В. Л., Сибирцев А. Н. - Электротехника. - № 7. - 2003. - С. 50-55.
2. **Виноградов А.Б.** Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». - Иваново, 2008. - 298 с. - ISBN.

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ ПРОСТОРОВОГО РУХУ БЕЗЕКІПАЖНОЇ ПІДВОДНОЇ БУКСИРУВАНОЇ СИСТЕМИ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Блінцов Олександр Володимирович, доктор технічних наук, завідувач кафедри комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки

Національний університет корабелбудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Соколов Володимир В'ячеславович, головний інженер – перший заступник генерального директора Державне підприємство «Виробниче об'єднання Південний машинобудівний завод ім. О.М. Макарова», м. Дніпро

Буксирівані підводні системи (БПС) широко застосовуються при виконанні морських робіт і мають велику історію розвитку [1]. Вони мають ряд переваг у порівнянні з іншими видами підводної робототехніки: можливість обстеження великих обсягів водної товщі та значних площ донної поверхні, можливість комплексного дослідження параметрів водного середовища, можливість оперативної обробки отримуваної інформації про підводне середовище у реальному часі, відносна простота конструкції та низька вартість створення БПС у порівнянні з самохідними підводними апаратами-роботами.

Особливу актуальність набувають безекіпажні морські системи [2], в тому числі безекіпажні БПС (ББПС) (рис. 1, а).

Безекіпажні БПС відрізняються від класичних тим, що замість судна забезпечення застосовується безекіпажний надводний носій (БНН). Для виконання операцій спуску БПА на воду та підйому БПА на борт БНН без участі людини застосовуються автоматизовані спуско-піднімальні пристрої (СПП). Керування всіма операціями відбувається дистанційно через модуль цифрового радіозв'язку (МЦР). В іншому структура ББПС відповідає класичній: кабельна леділка (КЛ) розташовується на БНН, кабель-буксир (КБ) корінним кінцем закріплюється на КЛ, ходовий кінець КБ закріплюється на БПА.

Основною проблемою застосування ББПС є автоматизація просторового руху БПА, оскільки як об'єкт керування ББПС представляє собою суттєво нелінійний багатовимірний об'єкт, який містить взаємодіючі елементи з зосередженими (БНН та БПА) та розподіленими параметрами (КБ) параметрами.