МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

САНЧЕНКО ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 621.3.06

РЕГУЛЬОВАНИЙ АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ З ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНИМ КЕРУВАННЯМ

05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано у Національному університеті біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник кандидат технічних наук, доцент
Голодний Іван Михайлович,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
доцент кафедри електропостачання
імені професора В. М. Синькова

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Мазуренко Леонід Іванович,
Інститут електродинаміки НАН України,
завідувач відділу електромеханічних систем

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Герасимчук Юрій Васильович,
Національний науковий центр
«Інститут механізації та електрифікації
сільського господарства» НААН,
провідний науковий співробітник
відділу електрифікації та автоматизації
агропромислового виробництва

Захист відбудеться «05» грудня 2019 року о 10^{00} годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.07 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розіслано «01» листопада 2019 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради А. В. Петренко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У сільському господарстві значна частка електрообладнання використовується з малопотужними регульованими електроприводами осьових вентиляторів. Швидкість двигуна регулюється зміною підведеної напруги живлення. Для одержання необхідного діапазону регулювання, за даного способу керування, використовують асинхронні спеціальні двигуни АИРП та 4АПА з підвищеним ковзанням, які мають низький ККД = 67 %. Зміну підведеної напруги здійснюють за допомогою тиристорних регуляторів напруги з фазово-імпульсним керуванням. Такі регулятори напруги створюють усі непарні вищі гармоніки, що погіршує якість електроенергії. Переваги перетворювача частоти, зокрема лінійна регулювальна характеристика і розширений діапазон регулювання 10:1, більш потребує привод з точним регулюванням (дозатори, виконавчі механізми), а економія електроенергії за рахунок роботи двигуна в діапазоні регулювання з номінальним ККД не покриває вартості самого перетворювача частоти через низькі енергетичні показники електродвигуна.

Вирішенню вищенаведеного науково-практичного завдання присвячено дисертацію.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, подані у роботі, виконано відповідно до науково-дослідної роботи «Розробка методів і засобів підвищення енергоефективності і екологічної безпеки електрообладнання в технологіях АПК (номер державної реєстрації 0115U003344), де здобувачу належать результати досліджень електромагнітних та електромеханічних перехідних процесів в електроприводі електротехнологічного комплексу знезаражуючої та передпосівної обробки зерна з метою економії електроенергії.

Мета та завдання дослідження. Мета дисертаційного дослідження – встановлення залежностей гармонічного складу вихідної напруги та струму від частоти комутації силового транзисторного ключа та уточнення характеру протікання процесу в дослідній моделі, спрямованих на поліпшення робочих характеристик привода і гармонічного складу вихідної напруги регулятора.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

– проаналізувати сучасний стан теорії і практики використання регульованого асинхронного електропривода вентиляційних установок та обґрунтувати найбільш перспективний спосіб регулювання кутової швидкості вентилятора;

– отримати аналітичну залежність вихідної напруги від частоти комутації силового транзисторного ключа і кута відкривання транзистора;

– розробити імітаційну комп'ютерну модель в програмному середовищі MatLab регулятора напруги з імпульсним керуванням і модель регульованого асинхронного електропривода вентилятора для дослідження гармонічного складу вихідної напруги регулятора та робочих характеристик електропривода вентилятора;

– удосконалити методику розрахунку елементної бази регулятора напруги з урахуванням результатів комп'ютерного моделювання;

– виготовити експериментальні зразки запропонованого регульованого електропривода та здійснити експериментальні дослідження для підтвердження адекватності розроблених імітаційних комп'ютерних моделей;

– обґрунтувати економічну ефективність практичного використання отриманих наукових результатів розробки.

Об'єкт дослідження – процеси формування гармонічного складу напруги і струму в регульованому електроприводі вентилятора з напівпровідниковим перетворювачем напруги з імпульсним керуванням.

Предмет дослідження – залежності та закономірності вихідної напруги, струму та їх спектрального складу від частоти комутації силового транзисторного ключа та сигналу керування, робочі характеристики регульованого асинхронного електропривода вентиляційної системи з широтно-імпульсним керуванням.

Методи дослідження. Під час вирішення поставлених в дисертації завдань використано теорію електричних кіл та теорію імпульсних систем для аналізу спектрального складу вихідної напруги регулятора, теорію електропривода для дослідження робочих характеристик, методи комп'ютерного моделювання в середовищі MatLab/Simulink для перевірки характеристик розроблених рішень, метод експериментального дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів. Уточнено характер протікання перехідних процесів у напівпровідникових перетворювачах з імпульсним керуванням вихідної напруги з урахуванням імпульсів зворотних напруг у силовому колі, що дало змогу поліпшити ефективність привода.

Уперше встановлено залежність гармонічного складу вихідної напруги та струму регулятора з імпульсним керуванням від частоти комутації силового транзисторного ключа, що дало змогу встановити поліпшення гармонічного складу широтно-імпульсного регулювання напруги перед фазово-імпульсним.

Удосконалено наукові підходи до розрахунку силового транзисторного ключа зі снабберним захисним вузлом регулятора напруги з використанням результатів комп'ютерного моделювання, що убезпечило режими його роботи.

Удосконалено математичну модель регульованого асинхронного привода з імпульсним керуванням вихідної напруги регулятора, яка враховує динамічні режими в силових електричних ключах, що дає змогу здійснювати дослідження як електромагнітних процесів у двигуні, так і спектра вихідної напруги перетворювача.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені імітаційні комп'ютерні моделі та методика розрахунку елементів регулятора напруги дають змогу визначити раціональні параметри регульованого електропривода вентиляційної установки з імпульсним регулюванням напруги.

Створені експериментальні зразки регульованого електропривода вентилятора, які підтверджують ефективність розробки та можуть бути прототипами для подальших розробок.

Результати проведених досліджень використовуються під час формування перспективних напрямів науково-дослідних робіт в Національному науковому центрі «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН та в навчальному процесі на кафедрі електротехніки, електромеханіки та електротехнологій Національного університету біоресурсів і природокористування України під час підготовки студентів ОС «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійним науковим дослідженням. Здобувачу належить постановка завдань і вибір методик дослідження, аналіз та узагальнення експериментальних результатів досліджень. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, в дисертації використано лише ті ідеї та положення, які є результатом особистої роботи здобувача.

Апробація результатів дисертації. Основні положення й матеріали дисертації було викладено в доповідях та обговорено на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу наукових працівників і аспірантів Навчально-наукового інституту енергетики, автоматики і енерго-збереження Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ, 2012–2017 рр.); XX Міжнародній науково-технічній конференції «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» (смт Глеваха, 2012 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми розвитку систем енергетики і автоматики в АПК» (м. Київ, 2012 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (м. Харків, 2012 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування» (м. Київ, 2013 р.); науково-практичному семінарі «Енергозабезпечення та електротехнології в АПК» (м. Київ, 2013 р.); XXI Міжнародній науково-технічній конференції «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» (смт Глеваха, 2013 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування» (м. Київ, 2014 р.); науково-практичному семінарі «Енергозабезпечення та електротехнології в АПК» (м. Київ, 2014 р.); науково-практичній студентській конференції «Проблеми енергозбереження в АПК України» (м. Харків, 2014 р.); XXIV Міжнародній науково-технічній конференції «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» (смт Глеваха, 2016 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування» (м. Київ, 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми енерго-забезпечення та енергозбереження в АПК України» (м. Харків, 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні питання енергетики та біотехнологій» (м. Бережани, 2016 р.); 8-й Міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених і спеціалістів «Агроінженерні інновації в сільському господарстві» (м. Москва, Російська Федерація, 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні питання енергетики та біотехнологій» (м. Бережани, 2017 р.).

Публікації. Основні положення дисертації викладено у 18 наукових працях, з яких 7 статей у наукових фахових виданнях України, 6 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, 2 статті у наукових виданнях інших держав та 3 тези наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Роботу викладено на 146 сторінках, вона містить 70 рисунків та 4 таблиці. Список використаних джерел налічує 107 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано наукове завдання, яке розв'язується в роботі; відзначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами; сформульовано мету й завдання досліджень; зазначено наукову новизну і практичне значення результатів дисертації та особистий внесок здобувача; наведено інформацію про апробацію дисертаційних досліджень.

У першому розділі **«Проблеми сучасного регульованого асинхронного електропривода»** на основі огляду літературних джерел та електронних ресурсів проаналізовано існуючі способи регулювання швидкості асинхронних двигунів. Встановлено, що для привода вентиляторних установок принципово можливі два способи регулювання швидкості асинхронного двигуна: регулювання швидкості обертання поля статора ω_0 і регулювання ковзання s при постійній величині ω_0. Кожний з наведених способів керування має як переваги, так і недоліки. Переваги регулювання швидкості електродвигуна зміною напруги з фазово-імпульсним керуванням над частотним керуванням – це простота, недорогі системи керування і силової частини регулятора напруги. Недоліки – великі втрати енергії під час регулювання, низька стабільність швидкості, джерело гармонічних спотворень.

Нині окремі аспекти проблеми розроблення дешевого і з поліпшеною характеристикою спектрального складу вихідної напруги перетворювача малопотужного регульованого електропривода для асинхронного електропривода є предметом численних досліджень вчених в усьому світі. Даному питанню присвячено наукові роботи українських вчених, таких як О. І. Адаменко, А. В. Башарин, Т. К. Бараненко, В. І. Мішин, М. Т. Лут, М. М. Заблодський, Л. І. Мазуренко, М. Г. Попович, І. В. Жеженко та ін. За кордоном цій проблемі також приділяють значну увагу: N. G. Kincaid, M. V. K. Chari, R. Carbone, D. Fabiane та ін.

Сучасні перетворювачі енергії будуються на основі напівпровідникових силових елементів, таких як тиристорні (симісторні) перетворювачі напруги, транзисторні перетворювачі частоти струму. Зазначені перетворювачі, тією чи іншою мірою, створюють імпульси напруги та вищі гармоніки в електричні мережі, що негативно впливає на роботу як самого електродвигуна, так і на інші споживачі електроенергії (рис. 1).

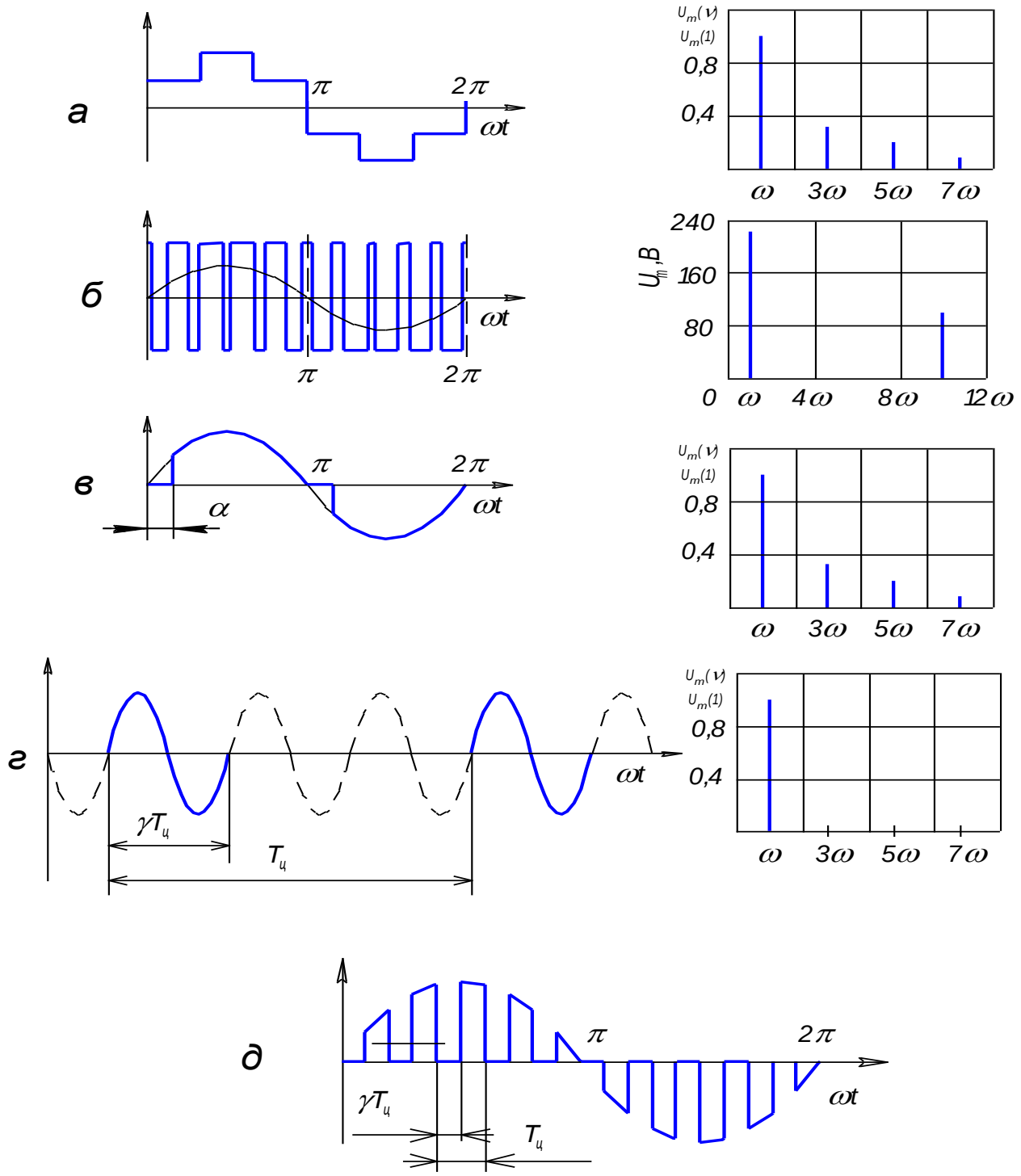


Рис. 1. Форма кривих та спектральний склад вихідної напруги за різних способів її одержання: *а* – перетворювач частоти на базі керованого випрямляча – автономного інвертора з широтно-імпульсним регулюванням; *б* – перетворювач частоти на базі нерегульованого випрямляча з синусоїдальним широтно-імпульсним керуванням; *в* – регулятор напруги на базі симісторів з фазово-імпульсним регулюванням; *г* – регулятор напруги з пофазно-імпульсним способом керування; *д* – регулятор напруги з керуванням за принципом широтно-імпульсного перетворювача

Загальним недоліком керування автономним інвертором за принципом керований випрямляч – автономний інвертор з широтно-імпульсним

регулюванням (див. рис. 1, *а*) та керованого випрямляча напруги на базі симісторів з фазово-імпульсним керуванням (див. рис. 1, *в*) є необхідність використання для регулювання величини вихідної напруги керованого випрямляча, який створює всі непарні вищі гармоніки у вихідній напрузі.

Поліпшити гармонічний склад вихідної напруги автономного інвертора можна при переході до синусоїдальної широтно-імпульсної модуляції. У цьому випадку, замість керованого випрямляча використовується нерегульований випрямляч, а форма модулюючої напруги є синусоїдальна. Найближча до першої вища гармоніка зсунута на частоту несучої генератора пилкоподібної напруги, частота комутації силових транзисторних ключів (див. рис. 1, *б*).

Відомий регулятор напруги з пофазно-імпульсним способом керування, за якого вихідна напруга формується періодичною послідовністю імпульсів синусоїдальної напруги і паузою між імпульсами. Причому тривалість імпульсів і паузи кратна періоду синусоїди напруги живлення. За такого регулювання напруги вищі гармоніки відсутні (див. рис. 1, *г*), але спостерігається коливання швидкості асинхронного двигуна, особливо на низьких швидкостях обертання.

Найприйнятнішим рішенням для регулювання малопотужного асинхронного електропривода, що відповідає критеріям низької вартості та якісної енергії, є регулятор напруги з керуванням за принципом широтно-імпульсного перетворювача (див. рис. 1, *д*), за якого чергуються періоди вмикання і вимикання силових електронних приладів. Період циклу на декілька порядків менший від періоду синусоїди напруги живлення. За такого керування спотворення синусоїди мінімальне, а найближча вища гармоніка, за аналогією з автономним інвертором з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією, передбачається на несучій частоті.

Наведене вище зумовлює необхідність розроблення та дослідження характеристик регульованого асинхронного електропривода, який би поєднував переваги привода з частотним перетворювачем і регулятором напруги з фазово-імпульсним керуванням.

У другому розділі **«Процеси формування вищих гармонік у складі вихідної напруги та струму напівпровідникового регулятора напруги асинхронного електропривода»** розглянуто теоретичні передумови формування гармонічного складу вихідної напруги та струму імпульсних регуляторів, залежність величини їхніх амплітуд від величини вихідної напруги регулятора, а також розроблено комп'ютерні моделі імпульсних регуляторів.

Дослідження періодичних несинусоїдальних напруг і струмів легше досліджувати, якщо криві розкласти в тригонометричний ряд Ейлера – Фур'є:

$$f(\omega t) = a_0 + \sum_n a_n \cos(n\omega\, t) + b_n \sin(n\omega t), \qquad (1)$$

де $\omega = 2\pi/T$ – основна частота, якщо період функції $T = 2\pi$, то $\omega = 1$; n – номер вищої гармоніки; a_0, a_n, b_n – коефіцієнти, відповідно, постійної, косинусної та синусної складових.

Досліджувана функція має вигляд синусоїди $f(\omega t)$ з розривами (див. рис. 1, *д*), тому час роботи і паузи транзистора доцільно записати у кутовому вимірі, тобто на інтервалах:

$$\left.\begin{array}{c} 0 \div \alpha; \\ 2\pi\frac{1}{k} \div 2\pi\frac{1}{k} + \alpha; \\ 2\pi\frac{2}{k} \div 2\pi\frac{2}{k} + \alpha; \\ 2\pi\frac{3}{k} \div 2\pi\frac{3}{k} + \alpha; \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ 2\pi\frac{c-1}{k} \div 2\pi\frac{c-1}{k} + \alpha. \end{array}\right\} f(\omega t) = 0; \qquad (2)$$

$$\left.\begin{array}{c} \alpha \div 2\pi\frac{1}{k}; \\ 2\pi\frac{1}{k} + \alpha \div 2\pi\frac{2}{k}; \\ 2\pi\frac{2}{k} + \alpha \div 2\pi\frac{3}{k}; \\ 2\pi\frac{3}{k} + \alpha \div 2\pi\frac{4}{k}; \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ 2\pi\frac{c-1}{k} + \alpha \div 2\pi\frac{c}{k}. \end{array}\right\} f(\omega t) = U_m \sin(\omega t). \qquad (3)$$

У загальному випадку можна записати:

$$2\pi\frac{c-1}{k} \div 2\pi\frac{c}{k} + \alpha, \quad f(\omega t) = 0; \qquad (4)$$

$$2\pi\frac{c-1}{k} + \alpha \div 2\pi\frac{c}{k}, \quad f(\omega t) = U_m \sin(\omega t), \qquad (5)$$

де $c = 1, 2, 3, \dots k$.

Функція $f(\omega t) = U_m \sin(\omega t)$ симетрична відносно осі абсцис та початку координат, звідси відсутні коефіцієнти постійної складової та косинусів, а також парні гармоніки.

Рівняння для визначення синусного коефіцієнта після нескладних математичних перетворень, матиме вигляд:

$$b_n = \frac{U_m}{2\pi}\sum_{1}^{c}\int_{\frac{2\pi(c-1)}{k}+\alpha}^{\frac{2\pi c}{k}} \cos(n-1)\,\omega t d\omega t - \cos(n+1)\,d(\omega t) =$$

$$= \frac{U_m}{2\pi}\sum_{1}^{c}\left[\frac{1}{n-1}\sin(n-1)\,\omega t\Big|_{\frac{2\pi(c-1)}{k}+\alpha}^{\frac{2\pi c}{k}} - \frac{1}{n+1}\sin(n+1)\omega t\Big|_{\frac{2\pi(c-1)}{k}+\alpha}^{\frac{2\pi c}{k}}\right] =$$

$$= \frac{U_m}{2\pi}\sum_{1}^{c}\left\{\frac{1}{n-1}\left[\sin[(n-1)\frac{2\pi c}{k}] - \sin[(n-1)\frac{2\pi(c-1)}{k} + \alpha]\right] - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{n+1}\left[\sin[(n+1)\frac{2\pi c}{k}] - \sin[(n+1)\frac{2\pi(c-1)}{k} + \alpha]\right]\right\}. \qquad (6)$$

Отримане рівняння вміщує змінні величини: кут відкривання α і кратність комутації *к* транзисторного ключа, що дає можливість отримати величину синусного коефіцієнта за їх різних значень.

Даний математичний опис синусного коефіцієнта отриманий для активного навантаження. За активно-індуктивного навантаження форма кривої напруги буде спотворюватися, відповідно, розрахунки будуть ускладнюватися. Тому в подальшому дослідження гармонічного складу вихідної напруги регуляторів за різними принципами роботи доцільно здійснювати на комп'ютерних імітаційних моделях в MatLab.

Імітаційну модель трифазного напівпровідникового перетворювача з широтно-імпульсним керуванням наведено на рис. 2. У складі силового блока перетворювача є трифазне джерело живлення Three-Phase Source, у кожній фазі якого увімкнено активно-індуктивне навантаження RL, трифазний діодний міст UniversalBridge. Блоками RL імітується активний опір та індуктивність обмотки статора електродвигуна. У коло постійної напруги діодного моста увімкнено силовий транзистор IGBT, який виконує роль ключа для вмикання і вимикання силового кола.

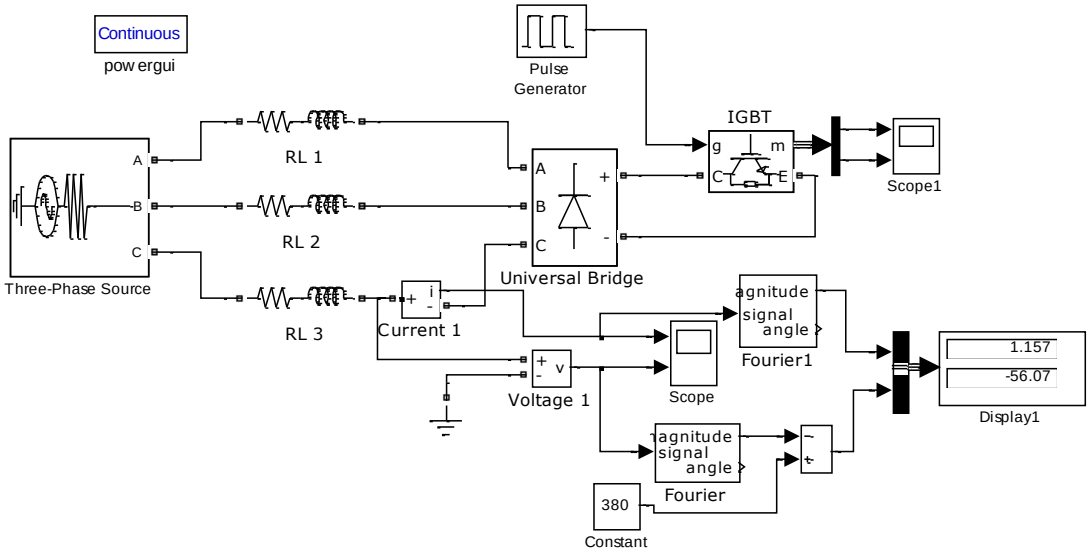


Рис. 2. Імітаційна модель трифазного регулятора напруги з широтно-імпульсним керуванням

Для регулювання вихідної напруги регулятора використовують два параметри: час періоду комутації T_K і час роботи транзисторного ключа t_P за період комутації. Керування транзистором регулятора напруги здійснює блок Pulse Generator, у полях вікна настройки якого задається T_K (Period, с) і t_P (Pulse Width, %).

Як видно з осцилограми блока Scope (рис. 3), синусоїда вихідної напруги перетворювача з широтно-імпульсним керуванням порізана з періодом, який складається з часу ввімкненого і вимкненого стану силового транзистора. Таким чином, створена модель трифазного перетворювача напруги працездатна і відтворює задані параметри вихідної напруги живлення електродвигуна.

Спектр струму трифазного регулятора напруги з широтно-імпульсним керуванням, в якому домінують непарні вищі гармоніки, кратні частоті комутації. Тобто, за частоти комутації f_K = 2000 Гц (κ = 40) вищі гармоніки

проявляються на рівні 39 і 41, 79 і 81 і т. д. Спектр струму має незначний фон інших гармонік, величина яких не перевищує 3 %.

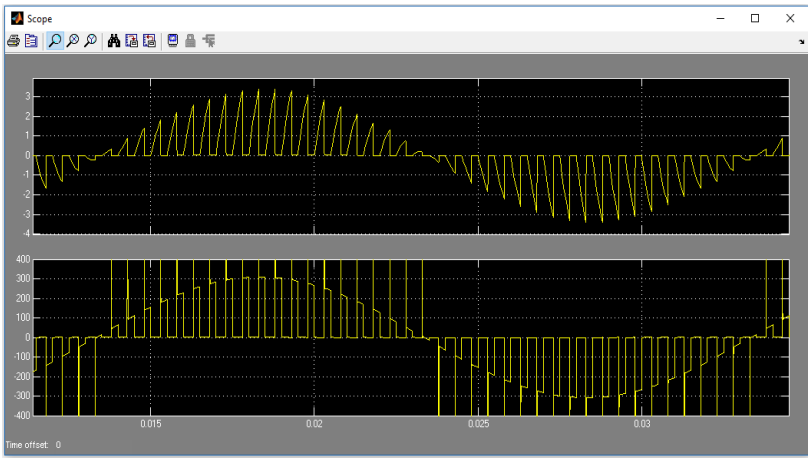


Рис. 3. Миттєві значення струму (верхня крива) і напруги (нижня крива) на навантаженні при t_P = 60 % і f_K = 2000 Гц (T_K = 0,0005 с, $к$ = 40)

Аналізуючи спектральний склад струму залежно від вихідної напруги (рис. 4) можна зазначити, що основна гармоніка (50 Гц) домінує на всьому інтервалі регулювання.

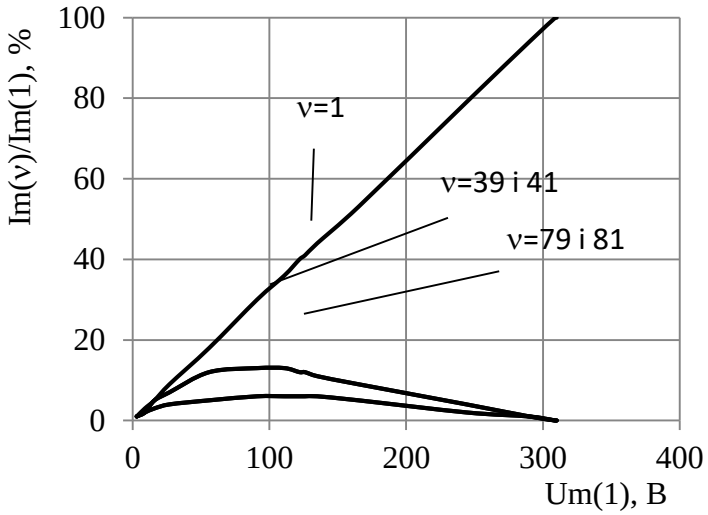


Рис. 4. Гармонічний склад струму трифазного регулятора напруги на базі широтно-імпульсного перетворювача

Для перевірки достовірності отриманих результатів на комп'ютерній моделі було проведено дослідження на лабораторному стенді регульованого електропривода осьового вентилятора ВО-7,1М з двигуном АИРП80А6У2. За результатами досліджень отримали залежності у відносних одиницях $\omega^*=f(U^*)$, $P^*=f(U^*)$, які наведено на рис. 5 як маркери, відповідно, для ω^* трикутником Δ, для P^* – х.

При порівнянні отриманих результатів видно, що відхилення показів комп'ютерної моделі та лабораторного стенду не перевищує 5 %. Тобто, можна сказати, що результати досліджень підтвердили адекватність комп'ютерної моделі реальним характеристикам електропривода.

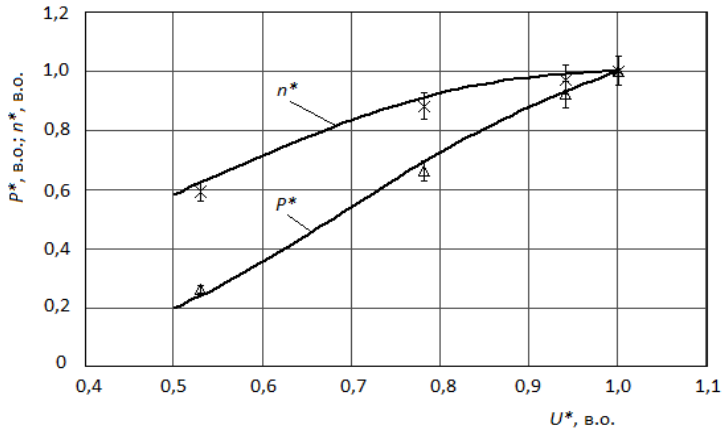


Рис. 5. Регулювальна та енергетична характеристики трифазного регульованого асинхронного електропривода з широтно-імпульсним регулятором напруги

Для порівняння: спектр струму вихідної напруги тиристорного регулятора напруги з фазово-імпульсним керуванням вміщує всі непарні гармоніки, крім третьої і кратних їй.

У третьому розділі **«Розробка інженерного методу захисту транзисторного ключа від імпульсів зворотної напруги з урахуванням вихідних даних комп'ютерного моделювання»** наведено результати досліджень на комп'ютерній моделі залежності величини імпульсів зворотної напруги на силовому транзисторному ключі від параметрів RC снабберного вузла та уточнену інженерну методику захисту транзисторного ключа.

За попередньо наближено визначеними параметрами снабберного вузла R_S і C_S на комп'ютерній моделі уточнено їх значення. За результатами розрахунків і досліджень було вибрано дані снаббера: R_S = 150 ОМ, C_S = 0,3 мкФ.

Згідно з результатами досліджень встановлено, що використання снаббера дало змогу зменшити імпульс напруги при вимиканні електронного транзисторного ключа з 60 (рис. 6) до 1,1 кВ (рис. 7).

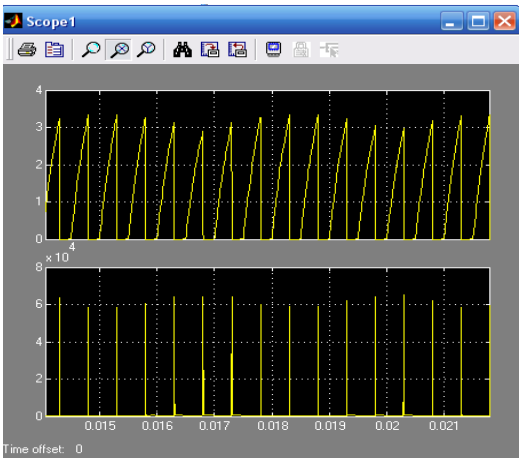
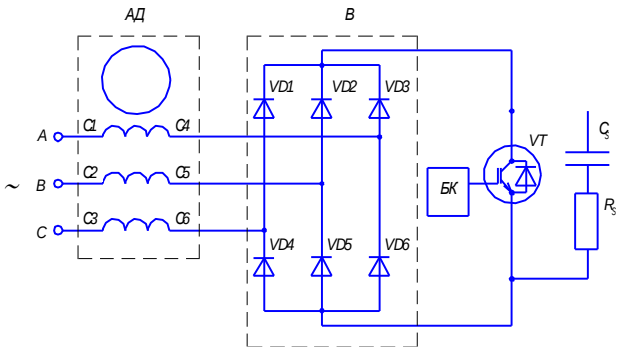


Рис. 6. Форма кривої струму (верхнє вікно) та напруги (нижнє вікно) без снаббера

Рис. 7. Миттєві значення струму (верхня крива) і напруги (нижня крива) з використанням снаббера

У четвертому розділі **«Експериментальні дослідження регульованого асинхронного електропривода з перетворювачем напруги на базі широтно-імпульсного керування»** наведено результати експериментальних досліджень регульованого асинхронного електропривода з регулятором напруги з широтно-імпульсним керуванням.

Силова частина трифазного асинхронного розробленого електропривода і зовнішній вигляд регулятора напруги наведено на рис. 8.



а *б*

Рис. 8. Регульований трифазний асинхронний електропривод з перетворювачем напруги на базі широтно-імпульсного керування: *а* – електрична схема; *б* – зовнішній вигляд регулятора

Під час дослідження форми вихідної напруги використовували аналоговий осцилограф СІ-112А. Шпаруватість імпульсів (величину діючої напруги на виході перетворювача) регулювали потенціометром.

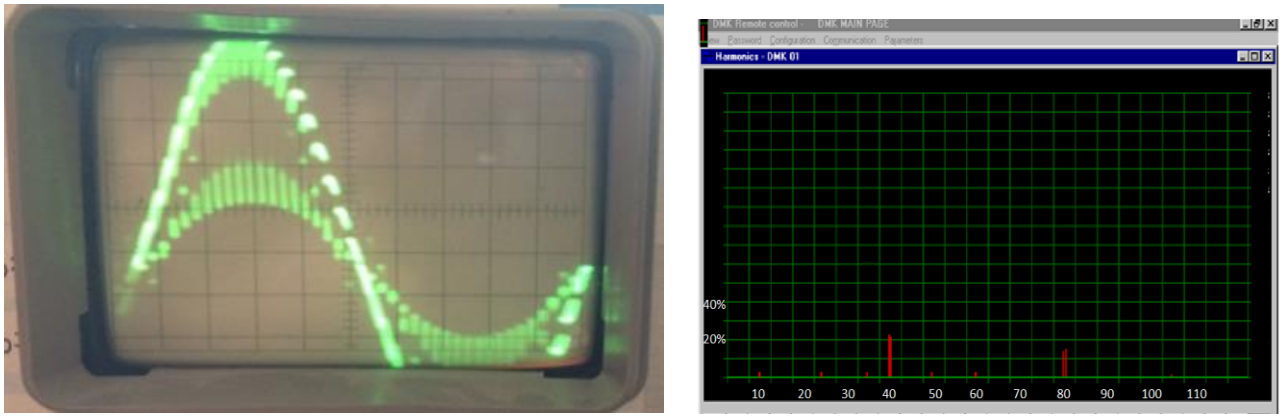
Дослідження спектра вихідної напруги здійснювали за допомогою універсального вимірювального приладу DMK32. При вимірюванні гармонік відповідні частоти порівнювалися з основною частотою та ізолювалися від решти спектра за допомогою внутрішнього фільтра. Покази виводилися як дольова величина від основної гармоніки. Результати виводилися на екрані гістограм.

Дослідження робочих характеристик електропривода вентилятора проводили для трьох регульованих систем: з тиристорним регулятором напруги ТСУ2-КЛУЗ, регулятором напруги на базі широтно-імпульсного керування та частотним керуванням. Для проведення досліджень використовували такі вимірювальні прилади: комплект К505 для вимірювання споживаного струму, напруги і потужності, тахометр Д-1ММ для вимірювання швидкості обертання ротора електродвигуна. Досліджувалися залежності споживаних з мережі потужності й струму та частоти обертання вентилятора від підведеної до двигуна напруги.

Для створення гальмівного моменту на валу досліджуваного асинхронного двигуна використовували балансирну машину, що є навантажувальним генератором постійного струму з незалежним збудженням, станина якого може повертатися в стоякових підшипниках. Кут повороту станини залежить від навантаження і обмежується спеціальним пружним пристроєм. На корпусі балансирної машини закріплено стрілку, яка показує кут повороту станини відносно нерухомої шкали залежно від величини гальмового моменту $M_Г$. Для зручності вимірювання гальмового моменту шкала проградуйована в Н·м.

Вали досліджуваного двигуна і балансирної машини жорстко з’єднані за допомогою муфти. Забезпечення регулювання в широких межах струму збудження навантажувального генератора живлення обмотки збудження передбачене від регульованого джерела постійного струму.

Результати досліджень наведено на рис. 9 і 10.



а *б*

Рис. 9. Форма кривої вихідної напруги (*а*) та спектральний склад (*б*) трифазного перетворювача з широтно-імпульсним керуванням (f_K = 2000 Гц)

Як видно з осцилограми, крива синусоїдальної напруги мережі живлення порізана на частки, тобто підтверджено теоретичні викладки регулювання змінної напруги за принципом широтно-імпульсного керування. Частота перемикання силового транзисторного ключа дорівнює 2000 Гц, яка в 40 разів більша від основної (50 Гц).

Результати досліджень спектрального складу вихідної напруги даного перетворювача (див. рис. 19 *б*) підтвердили попередні теоретичні та експериментальні дослідження однофазного перетворювача викладки про

формування вищих гармонік кратних несучій частоті, якою, у даному випадку, є 40 гармоніка. Пік вищих гармонік явно виражений на 39, 41 та 79, 81, які знаходяться в області кратній несучій частоті, тобто 40 та 80.

За результатами досліджень отримано залежності (рис. 10). Як видно з рисунка, споживана потужність електропривода з регулятором напруги з широтно-імпульсним керуванням у середньому на 10 % менша від електропривода з тиристорним регулятором. Найменшу споживану потужність має електропривод вентилятора з частотним керуванням, але, через малопотужний привод, дана економія не покривається капітальними затратами на сам перетворювач частоти.

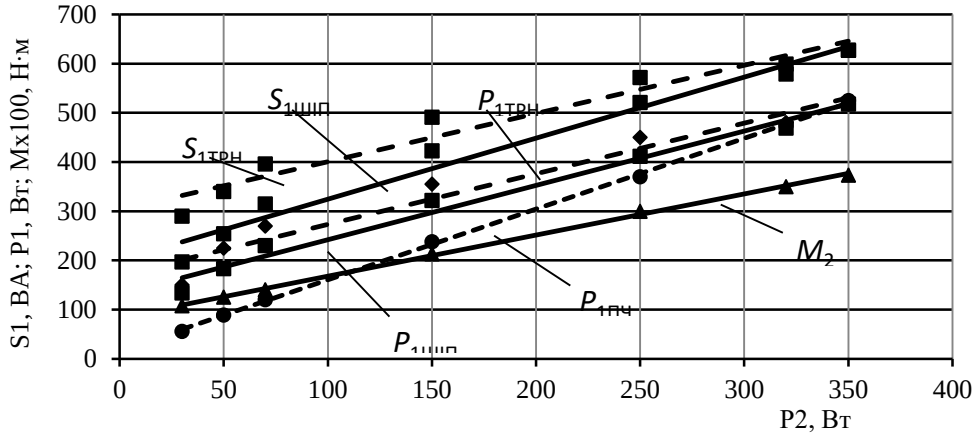


Рис. 10. Робочі характеристики регульованого електропривода осьового вентилятора з тиристорним та широтно-імпульсним регуляторами напруги

За експериментальними дослідженнями механічних характеристик регульованого електропривода вентилятора з широтно-імпульсним регулятором напруги (рис. 11) визначено основні показники регулювання: статизм $\delta_{СТ} = 29{,}1$ (рад/с)/Н·м; діапазон регулювання $D = 7{,}8{:}1$ (для тиристорного регулятора з фазово-імпульсним керуванням 6:1, а частотного – 9:1); показник плавності для всіх приводів наближається до одиниці.

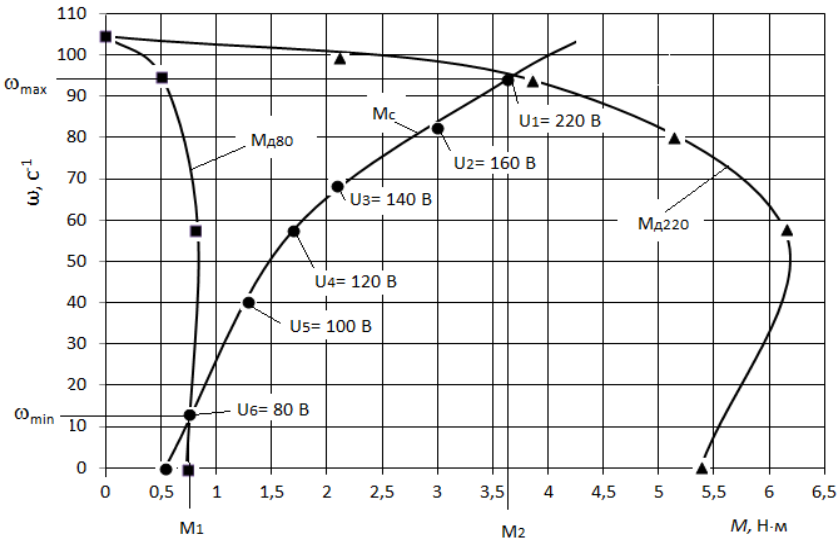


Рис. 11. Механічні характеристики регульованого трифазного електропривода осьового вентилятора з широтно-імпульсним регулятором напруги

У п’ятому розділі **«Техніко-економічна оцінка розробки»** наведено результати виробничої перевірки регульованого електропривода вентиляційної системи. Виробничу перевірку розробки проведено в корівнику з квітня до вересня 2018 р. у виробничому господарстві Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Немішаївський агротехнічний коледж» Бородянського району Київської області.

Основні дані регульованої системи вентиляції: осьовий вентилятор ВО-7,1М з двигуном АИРП80А6У2, система управління електродвигуном на базі широтно-імпульсного перетворювача напруги, силовий блок якої складався з чотирьох випрямних діодів та одного IGBT-транзистора з блоком керування ним.

Перевірка показала, що впродовж зазначеного терміну роботи дослідна вентиляційна система працювала стабільно, без поломок.

Економічний ефект від впровадження розробки, порівняно з електроприводом вентиляторної установки «Климатика-5» з тиристорним регулятором напруги з фазово-імпульсним керуванням, становить 15,9 тис. грн.

Результати наукових досліджень передано Національному науковому центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН для використання при обґрунтуванні напрямів розвитку електрифікованих технологій, зокрема регульованого електропривода в сільському господарстві та під час розробки перспективних науково-дослідних робіт.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено актуальне наукове завдання, яке полягає у встановленні взаємозв’язку гармонічного складу й величини амплітуд вищих гармонік вихідної напруги та струму регулятора з імпульсним керуванням від величини вихідної напруги регулятора трифазного регульованого асинхронного електропривода, що має істотне значення для поліпшення розвитку регульованого електропривода осьового вентилятора. За результатами досліджень зроблено такі висновки.

1. Для регульованих асинхронних електроприводів малої потужності, наприклад, осьових вентиляторів, доцільно використовувати регулятори напруги з керуванням за принципом широтно-імпульсного перетворювача, вищі гармоніки якого кратні частоті комутації транзисторного ключа, а капітальні затрати, порівняно з тиристорними регуляторами напруги з фазово-імпульсним керуванням, у 3,8 раза менші.

2. Встановлено аналітичну залежність синусного коефіцієнта вихідної напруги від кута відкривання та кратності частоти комутації транзисторного ключа, що дає можливість визначити вихідну напругу при різних значеннях змінних величин.

3. Розроблена в MatLab імітаційна комп’ютерна модель однофазного і трифазного перетворювача напруги з широтно-імпульсним керуванням. Встановлено, що спектр вихідної напруги і струму складається з вищих

гармонік кратних частоті комутації силового транзисторного ключа. Зокрема, за частоти комутації f_K = 2000 Гц (κ = 40) вищі гармоніки проявляються на рівні 39 і 41, 79 і 81, 159 і 161 і т. д. Спектр напруги, через спотворення форми вихідної напруги імпульсами зворотної напруги, має незначний фон інших гармонік, величина яких не перевищує 10 %.

4. Удосконалено методику розрахунку силових елементів регулятора напруги з широтно-імпульсним керуванням, яка уточнює із застосуванням комп'ютерної моделі попередньо наближено визначені параметри елементів. Зокрема, визначені елементи RC-снаббера (R_S = 150 Ом, C_S = 0,3 мкФ) регулятора напруги електропривода осьового вентилятора ВО-7,1М з двигуном АИРП80А6У2 дали змогу зменшити імпульс зворотної напруги при вимиканні електронного транзисторного ключа від 60 до 1,1 кВ.

5. Результати експериментальних досліджень показників регулювання електропривода свідчать, що діапазон регулювання електропривода з широтно-імпульсним регулятором напруги розширений на 30 % порівняно з тиристорним регулятором напруги і становить D = 7,8:1, коефіцієнт плавності близький до одиниці.

Порівнянням отриманих робочих характеристик електропривода вентилятора на комп'ютерній моделі та експериментальних даних встановлено, що розбіжність їх значень не перевищує 5 %, яке підтверджує адекватність розробленої імітаційної комп'ютерної моделі.

6. У результаті проведених виробничих випробувань у господарстві Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України Бородянського району Київської області встановлено, що загальний прибуток від впровадження установки, порівняно з базовим варіантом (електропривода вентиляційної установки «Климатика-5» з тиристорним регулятором напруги), за літній період становить 15887 грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Санченко О. В. Експериментальні дослідження спектрального складу вихідної напруги широтно-імпульсного перетворювача при роботі на активне навантаження. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2013. Вип. 13. Т. 2. С. 110–115.

2. Голодний І. М., **Санченко О. В.** До питання регулювання швидкості малопотужного асинхронного електропривода. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2011. Вип. 166. Ч. 4. С. 64–70. *(Здобувачем проведено аналіз спектрального складу вихідної напруги електронних регуляторів асинхронного електропривода)*.

3. Голодний І. М., **Санченко О. В.** Аналіз спектрального складу вихідної напруги перетворювача з широтно-імпульсним керуванням. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2012. Вип. 174. Ч. 2. С. 99–105. *(Здобувачем*

проведено аналіз спектру вихідної напруги однофазного регулятора при роботі на активне навантаження).

4. Голодний І. М., **Санченко О. В.** Порівняльний аналіз на моделі в MatLab гармонічного складу вихідної напруги електронних перетворювачів з різними способами керування при роботі на активне навантаження. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. 2012. Вип. 129. С. 74–78. *(Здобувачем розроблено моделі електронних регуляторів напруги з різними способами керуванням, проведено порівняльні дослідження їх вихідної напруги)*.

5. Голодний І. М., **Санченко О. В.** Спектр вихідної напруги та струму напівпровідникового перетворювача з широтно-імпульсним керуванням при роботі на активно-індуктивне навантаження. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2013. Вип. 97. Т. 2. С. 232–239. *(Здобувачем на комп'ютерній моделі встановлено форми і спектральний склад вихідної напруги та струму однофазного регулятора напруги з широтно-імпульсним керуванням при роботі на активно-індуктивне навантаження)*.

6. Голодний І. М., **Санченко О. В.** Дослідження на моделі в Matlab складу вищих гармонік вихідної напруги та струму трифазного регулятора з ШІП при роботі на активно-індуктивне навантаження. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. 2016. Вип. 175. С. 63–65. *(Здобувачем на моделі трифазного регулятора напруги з широтно-імпульсним керуванням проведено дослідження форми вихідної напруги та спектрального складу)*.

7. Голодний І. М., Синявський О. Ю., **Санченко О. В.** Дослідження робочих характеристик трьохфазного асинхронного електропривода з тиристорним регулятором напруги. Енергетика і автоматика. 2017. № 3. С. 55–62. Режим доступу до журналу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eia_2017_3_8. *(Здобувачем проведено порівняльні дослідження на комп'ютерній і фізичній моделі регулювальних та енергетичних характеристик асинхронного електропривода з тиристорним регулятором напруги)*.

Статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних:

8. Голодний І. М., **Санченко О. В.** Комп'ютерна модель трифазного регульованого асинхронного електропривода із широтно-імпульсним перетворювачем. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2016. Вип. 242. С. 97–100. *(Здобувачем розроблено комп'ютерну модель трифазного регулятора напруги з широтно-імпульсним керуванням для роботи на активно-індуктивне навантаження)*.

9. Голодний І. М., **Санченко О. В.** Аналітичний аналіз вихідної напруги регулятора з ШІП під час роботи на активне навантаження. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2016. Вип. 256. С. 230–233. *(Здобувачем визначено математичне рівняння для аналізу спектрального складу вихідної напруги*

регулятора з широтно-імпульсним перетворювачем, в якому враховано кут відкривання і частоту комутації транзисторних ключів).

10. Голодний І. М., **Санченко О. В.** Спектральний аналіз на моделі в MatLab вихідної напруги та струму трифазного регулятора з ШІП під час роботи на активно-індуктивне навантаження. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природо-користування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2016. Вип. 256. С. 172–177. *(Здобувачем отримано результати аналізу спектрального складу вихідної напругу та струму регулятора з широтно-імпульсним керуванням)*.

11. Голодний І. М., **Санченко О. В.** Дослідження на моделі в MatLab спектра вихідної напруги та струму однофазного тиристорного регулятора за роботи на RL-навантаження. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2017. Вип. 261. С. 235–243. *(Здобувачем на комп'ютерній моделі отримано регулювальну характеристику однофазного регулятора напруги з фазо-імпульсним керуванням та гармонічний склад вихідної напруги)*.

12. Голодний І. М., Синявський О. Ю., **Санченко О. В.** Дослідження електро-магнітних процесів трифазного асинхронного електропривода з тиристорним регулятором напруги. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2017. Вип. 268. С. 66–74. *(Здобувачем проведено порівняльні дослідження на комп'ютерній і фізичній моделі електромагнітних процесів тиристорного регулятора напруги з фазо-імпульсним керуванням)*.

13. Голодний І. М., **Санченко О. В.** Дослідження електромагнітних процесів у снабберному вузлі електронного ключа регулятора напруги. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природо-користування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2018. Вип. 283. С. 174–180. *(Здобувачем на розробленій комп'ютерній моделі проведено дослідження щодо вибору елементів снабберного вузла електронного ключа регулятора напруги)*.

Статті в наукових виданнях іншої держави:

14. Голодный И. М. **Санченко А. В.** Проблемы регулируемого асинхронного электропривода малой мощности. Вестник ВИЭСХ. 2014. № 1. С. 21–27. *(Здобувачем проведено аналіз на комп'ютерній моделі спектрального складу вихідної напруги перетворювача в залежності від частоти комутації транзисторного ключа і величини вихідної напруги)*.

15. Голодный И. М., Синявский А. Ю., **Санченко А. В.** Исследование 3-фазного асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения с фазоимпульсным управлением. Вестник ВИЭСХ. 2017. № 4. С. 139–144. *(Здобувачем розроблено модель трифазного регулятора напруги з фазо-імпульсним керуванням для асинхронного електропривода)*.

Тези наукових доповідей:

16. **Санченко О. В.**, Голодний І. М. Гармонічний склад вихідної напруги регулятора з ШІП при роботі на активне навантаження. Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування (теорія, практика, історія, освіта): Міжнародна науково-технічна конференція, м. Київ, 14–18 листопада 2016 року: тези доповіді. К., 2016. С. 127–129. *(Здобувачем на основі теоретичних досліджень визначено рівняння для аналізу спектрального складу вихідної напруги регулятора з широтно-імпульсним перетворювачем, в якому введено дві змінні величини: кут відкривання і частота комутації транзисторних ключів)*.

17. Голодний І. М., **Санченко О. В.** Спектр вихідної напруги регулятора на базі ШІП регульованого трифазного електропривода. Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві: Міжнародна науково-технічна конференція, смт Глеваха, 29–30 червня 2017 року: тези доповіді. Глеваха, 2017. С. 62–63. *(Здобувачем проведено дослідження на комп'ютерній моделі спектрального складу вихідної напруги регулятора)*.

18. Голодний І. М., **Санченко О. В.** Дослідження снабберного вузла електронного регулятора напруги. Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 23–25 травня 2018 року: тези доповіді. К., 2018. С. 84. *(Здобувачем проведено дослідження впливу величин ємності і активного опору снабберного вузла електронного ключа на імпульси зворотної напруги з активно-індуктивним навантаженням)*.

АНОТАЦІЯ

Санченко О. В. Регульований асинхронний електропривод вентиляційної системи з широтно-імпульсним керуванням. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2019.

Дисертація містить результати теоретичних та експериментальних досліджень регульованого асинхронного електропривода з регулятором напруги на базі широтно-імпульсного керування.

Отримані робочі характеристики розробки, зокрема споживана потужність, ККД, порівняно з вентиляційною системою на базі тиристорного регулятора напруги з фазово-імпульсним керуванням, показали покращені результати.

Встановлено, що спектр вихідної напруги і струму складається з вищих гармонік кратних частоті комутації силового транзисторного ключа. Зокрема, за частоти комутації f_K = 2000 Гц (κ = 40) вищі гармоніки проявляються на рівні 39 і 41, 79 і 81, 159 і 161 і т. д. Спектр напруги, через спотворення форми вихідної напруги імпульсами зворотної напруги, має незначний фон інших

гармонік, величина яких не перевищує 10 %. Величина імпульсу зворотної напруги різко зменшується до частоти комутації f_K = 2,0…2,5 кГц.

Отримано залежності амплітуд вищих гармонік вихідної напруги та струму залежно від вихідної напруги регулятора.

Розроблено уточнену методику з використанням результатів комп'ютерного моделювання вибору силової елементної бази регулятора напруги з широтно-імпульсним керуванням, яка дала можливість зменшити імпульс напруги при вимиканні електронного транзисторного ключа від 60 до 1,1 кВ.

Наведено результати виробничих випробувань та визначено економічну ефективність експериментального зразка регульованого асинхронного електропривода осьового вентилятора з широтно-імпульсним перетворювачем напруги.

Ключові слова: регульований асинхронний електропривод, регулятори напруги з імпульсним керуванням, силовий електронний ключ, снаббер, характеристики електропривода, гармонічний спектр напруги та струму.

АННОТАЦИЯ

Санченко А. В. Регулируемый асинхронный электропривод вентиляционной системы с широтно-импульсным регулированием. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы». Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины. Киев, 2019.

В сельском хозяйстве большая часть электрооборудования используется с маломощными регулируемыми электроприводами осевых вентиляторов. Регулирование скорости двигателя производится изменением подведенного напряжения питания с помощью тиристорных регуляторов с фазо-импульсным управлением. Такие регуляторы создают все нечетные высшие гармоники, ухудшают качество электроэнергии. Преимущества преобразователя частоты, в частности линейная регулировочная характеристика и расширенный диапазон регулирования 10: 1, более нуждается привод с точной регулировкой (дозаторы, исполнительные механизмы), а экономия электроэнергии за счет работы двигателя в диапазоне регулирования с номинальным КПД не покрывает стоимости самого преобразователя частоты из-за низких энергетических показателей электродвигателя.

Диссертация содержит результаты теоретических и экспериментальных исследований регулируемого асинхронного электропривода с регулятором напряжения на базе широтно-импульсного управления.

Целью исследования является установление зависимостей гармонического состава выходного напряжения и тока от частоты коммутации силового транзисторного ключа и уточнение характера протекания процесса

в исследуемой модели, направленных на улучшение рабочих характеристик привода и гармонического состава выходного напряжения регулятора.

При решении поставленных в диссертации заданий использовалась теория электрических цепей и теория импульсных систем для анализа спектрального состава выходного напряжения регулятора, теория электропривода для исследования рабочих характеристик, методы компьютерного моделирования в среде MatLab/Simulink для проверки характеристик разработанных решений, метод экспериментального исследования.

Диссертация содержит результаты теоретических и экспериментальных исследований регулируемого асинхронного электропривода с регулятором напряжения на базе широтно-импульсного управления.

Полученные рабочие характеристики разработки (потребляемая мощность, КПД) имели улучшенные показатели по сравнению с вентиляционной системой на базе тиристорного регулятора напряжения с фазо-импульсным управлением.

Установлено, что спектр выходного напряжения и тока состоит из высших гармоник кратных частоте коммутации силового транзисторного ключа. В частности, при частоте коммутации f_K = 2000 Гц (κ = 40) высшие гармоники проявляются на уровне 39 и 41, 79 и 81, 159 и 161 и т. д. Спектр напряжения, из-за искажения формы выходного напряжения импульсами обратного напряжения, имеет незначительный фон других гармоник, величина которых не превышает 10 %. Величина импульса обратного напряжения резко уменьшаются с частотой коммутации f_K = 2,0...2,5 кГц.

Получены зависимости амплитуд высших гармоник выходного напряжения и тока в зависимости от выходного напряжения регулятора.

Разработана уточненная методика с использованием результатов компьютерного моделирования выбора силовой элементной базы регулятора напряжения с широтно-импульсным управлением, которая дала возможность уменьшить импульс напряжения при выключении электронного транзисторного ключа с 60 до 1,1 кВ.

Приведены результаты производственных испытаний и определена экономическая эффективность экспериментального образца регулируемого асинхронного электропривода осевого вентилятора с широтно-импульсным преобразователем напряжения.

Ключевые слова: регулируемый асинхронный электропривод, регуляторы напряжения с импульсным управлением, силовой электронный ключ, снаббер, характеристики электропривода, гармоничный спектр напряжения и тока.

ANNOTATION

Sanchenko A. V. Adjustable Asynchronous Drive of Ventilation System with Pulse Width Control. – The Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.09.03 «Electrotechnical Complexes and Systems». National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2019.

The thesis contains the results of theoretical and experimental studies of an adjustable asynchronous electric drive with a voltage regulator based on pulse-width control.

The obtained performance characteristics of the development (power consumption, efficiency) had improved performance compared with the ventilation system based on a thyristor voltage regulator with phase-pulse control.

It is established that the spectrum of the output voltage and current consists of higher harmonics multiples of the switching frequency of the power transistor switch. In particular, at a switching frequency of f_K = 2000 Hz (κ = 40), the higher harmonics appear at the levels of 39 and 41, 79 and 81, 159 and 161 etc. The voltage spectrum, due to the distortion of the output voltage form by reverse voltage pulses, has a slight background of other harmonics, the magnitude of which does not exceed 10 %. The magnitude of the reverse voltage pulse decreases sharply with a switching frequency f_K = 2.0...2.5 kHz.

The dependences of the amplitudes of the higher harmonics of the output voltage and current depending on the output voltage of the regulator are obtained.

A refined method was developed using the results of computer simulation of the choice of the power element base of a voltage regulator with pulse-width control, which made it possible to reduce the voltage pulse when the electronic transistor switch was turned off from 60 to 1.1 kV.

The results of production tests are presented and the economic efficiency of an experimental sample of an adjustable asynchronous electric drive axial fan with a pulse-width voltage converter is determined.

Key words: adjustable asynchronous electric drive, voltage regulators with pulse control, power electronic switch, snubber, characteristics of the electric drive, harmonious voltage and current spectrum.

Підписано до друку 31.10.19 Формат 60х84\16
Ум. друк. арк. 1,4
Наклад 100 прим. Зам. № 190977

Віддруковано у редакційно-видавничому відділі НУБіП України
вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041
тел.: 527-81-55