

Національний університет “Львівська політехніка”

ВЕКЛИНЕЦЬ Ірина Іванівна

УДК 62-83:621.313.3

**РЕГУЛЬОВАНІ ЕЛЕКТРОПРИВОДИ
З АКТИВНИМИ ВИПРЯМЛЯЧАМИ**

05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Львів 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті “Львівська політехніка”
Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Щур Ігор Зенонович,
професор кафедри електроприводу та автоматизації
промислових установок Національного університету
“Львівська політехніка”

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Радімов Сергій Миколайович,
проф. каф. енергоменеджменту Одеського
національного політехнічного університету;

кандидат технічних наук, доцент
Ковбаса Сергій Миколайович,
доц. каф. автоматизації електромеханічних систем
та електроприводу Національного технічного
університету України “Київський політехнічний інститут”.

Захист відбудеться “2” липня 2010 р. о “15” год. “00” хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.02 в Національному університеті “Львівська політехніка” (79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” (79013, м. Львів, вул. Професорська,1).

Автореферат розісланий “1” червня 2010 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради

В.І. Коруд

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. Понад 60 % усіх споживачів електроенергії займають електроприводи (ЕП), які з розвитком автоматизованих технологічних процесів для покращення експлуатаційних характеристик, а також з метою енергозбереження все частіше стають регульованими. Сучасні регульовані ЕП мають переважно в силовому колі ланку постійного струму, яка традиційно виконується у вигляді мостового пасивного (діодного) випрямляча з ємнісним фільтром на виході. Така ланка є нелінійним споживачем електроенергії, тому генерує в мережі вищі гармоніки напруги та кондуктивні завади, породжуючи проблему електромагнітної сумісності (ЕМС). Для вирішення цієї проблеми застосовують цілу низку електротехнічних пристроїв, які можна поділити на пасивні та активні. Серед активних пристроїв останнім часом все більша увага приділяється окремій групі – активним випрямлячам (АВ).

Актуальність теми. Значна доля ЕП у балансі електроспоживання, дефіцит генеруючих потужностей, зростання вартості електроенергії, вимог до забезпечення ЕМС та енергетичної ефективності зумовили актуальність створення нових поколінь ЕП з використанням у них АВ. Прийняття стандартів, що жорстко регламентують якість споживання електроенергії, посилило інтерес до розроблення та дослідження різноманітних топологій АВ. Завдяки своїй багатofункціональності (окрім підвищення якості споживання електроенергії, регулюють напругу в проміжній ланці постійного струму та можуть забезпечувати двонапрявлену передачу електричної енергії), АВ набувають все більшої актуальності. Формування вхідних струмів АВ може здійснюватись низькочастотним та високочастотним керуванням (ШІМ-керування). Останнє забезпечує найкращі енергетичні показники споживаного струму. Крім основних функцій, ШІМ керовані АВ дають змогу знизити ємність конденсатора у проміжній ланці постійного струму, а також потужність вхідних пасивних елементів (дроселів та конденсаторів), якщо вони є необхідні для роботи певної схеми АВ.

За останні роки з'явилося велике різноманіття АВ, кожен з яких має свої особливості у роботі. Є багато класифікацій АВ за різними ознаками, проте не всі вони є впливовими на вибір для застосування в ЕП. Наявність у спеціальній літературі незначної кількості прикладів використання АВ у регульованих ЕП, здебільшого з шестиключовим АВ, що не завжди є економічно обґрунтованим, зумовили необхідність у формуванні цілісного підходу до вибору АВ для регульованих ЕП з врахуванням ознак їх впливу на ЕМС. Системи керування АВ дуже різняться між собою, деякі АВ можуть мати кілька варіантів системи керування ними, як, наприклад, шестиключовий АВ напруги, тому потребують більш детального вивчення та дослідження, а у деяких випадках і розроблення нових систем керування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження проводилися відповідно до розробленого згідно із Законом України від 11 липня 2001 р. “Про пріоритетні напрямки розвитку науки та техніки” наукового напрямку Національного університету “Львівська політехніка” “Ресурсозберігаючі технології та інтелектуальні системи керування в енергозабезпеченні об'єктів економічної діяльності”.

Проведені дослідження виконувалися за участю автора в науково-дослідних

держбюджетних роботах Міністерства освіти та науки України, а саме: ДБ “Нейтраль” (держреєстрація №0105U000608, 2007 р.) та ДБ “Оберт” (держреєстрація №0109U001155, 2009 р.).

Мета і задачі досліджень. Мета роботи – дослідити перспективні топології АВ, варіанти розширення їх функцій та побудову систем керування трифазних ШІМ керованих АВ для застосування їх у сучасних регульованих ЕП.

Для досягнення мети необхідно розв’язати такі задачі:

- класифікувати ЕП з ланкою постійного струму за ознаками їх ЕМС;
- проаналізувати відомі топології ШІМ керованих АВ, розробити класифікацію за ознаками щодо їх застосування в ЕП та обґрунтувати найбільш перспективні топології для використання в сучасних ЕП;
- провести дослідження побудови систем керування відібраних перспективних топологій ШІМ керованих АВ;
- розробити та дослідити варіанти розширення функцій ШІМ керованих АВ в ЕП;
- дослідити на комп’ютерних моделях роботу сучасних ЕП з різними відібраними топологіями та системами керування АВ.

Об’єктом дослідження є процеси якісного споживання електричної енергії ЕП з використанням у них АВ.

Предметом дослідження є топології, системи керування, основні та додаткові функції АВ у сучасних ЕП.

Методи досліджень. При вирішенні поставлених в дисертації задач використовувались наступні методи і теорії: теорія електричних кіл для обчислення вхідних пасивних елементів в одноключових схемах АВ; інтегральний метод обчислення потужностей для визначення показників роботи АВ; теорія миттєвої потужностей Акагі-Набае та теорія векторного керування для побудови систем з векторним керуванням АВ; теорія лінійної алгебри для перетворення координат регулювання; теорія автоматичного керування для побудов систем керування АВ, а також системи ЕП в цілому; методи комп’ютерного симулювання у програмному середовищі Matlab/Simulink для перевірки роботи систем ЕП з АВ.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше обґрунтовано критерії класифікаційних ознак та види топологій АВ стосовно доцільності їх застосування в регульованих ЕП різної потужності, з переважними режимами роботи, а також додатковими функціями АВ у системах ЕП, що дало змогу теоретично обґрунтувати основу для розроблення регульованих ЕП з АВ.

2. Розроблено новий підхід до керування триключовими АВ, який полягає в груповому ввімкненні і індивідуальному вимкненні транзисторів, що дає змогу суттєво знизити їх частоту перемикання і тим самим зменшити комутаційні втрати потужності в силовому перетворювачі.

3. Отримала подальший розвиток стратегія прямого керування потужністю шестиключових АВ напруги, а саме – застосування замість традиційних 6-и базових векторів 12-и, які забезпечує транзисторний інвертор напруги, що дає змогу стабілізувати частоту перемикань транзисторів.

4. Запропоновано нову структуру САР вихідної напруги АВ з введенням додатного зворотного зв'язку за активною потужністю, яка формується в САК ЕП у вигляді добутку координат завдання моменту та кутової швидкості, що дає змогу зменшити ємність конденсаторної батареї в ланці постійного струму.

Практичне значення одержаних результатів.

Розроблено рекомендації щодо вибору АВ для використання у сучасних регульованих ЕП відповідно до їх потужності та режимів роботи. Сформовано таблицю з отриманими кількісними енергетичними показниками для найбільш перспективних щодо застосування в ЕП топологій АВ, що дає змогу оперативно порівнювати відібрані АВ для конкретних застосувань.

Запропонований ієрархічний підхід до побудови систем керування АВ дає можливості розробникам формувати найбільш доцільні варіанти САК АВ з великої кількості можливих підходів.

Розроблено низку способів розширення функцій АВ у системах ЕП, що дає змогу комплексно використовувати АВ, поклавши на них додаткові функції автоматичного регулювання параметрів електромеханічної системи.

Створено цілу низку комп'ютерних моделей з використанням АВ (21 шт.), що можуть використовуватись у подальших наукових дослідженнях та навчальному процесі. Розроблено комп'ютерну інструментальну базу для вимірювання енергетичних показників та параметрів роботи АВ, яку можна використовувати при моделюванні і дослідженні систем ЕП з АВ.

Матеріали дисертації використовуються в навчальному процесі для студентів спеціальності 7.092203 – „Електромеханічні системи автоматизації та електропривод” та 7.092201 – «Електричні системи і комплекси транспортних засобів» на кафедрі електроприводу та автоматизації промислових установок Інституту енергетики та систем керування Національного університету „Львівська політехніка”. Відповідні документи про використання результатів роботи наведені в додатку дисертації.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові положення та результати, наведені в дисертації, які виносяться на захист, отримані автором особисто. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить: у роботі [1] – розроблення та дослідження принципу керування триключовим (віденським) АВ; у [2] – дослідження моделі з DC/DC-перетворювачем для забезпечення ЕМС в ЕП з циклічним навантаженням, що живляться від мереж співмірної потужності; у [4, 5] – запропоновано та досліджено нову модифікацію стратегії керування DPC, здійснення порівняльного аналізу показників роботи модифікацій стратегії керування DPC; у [6] – дослідження роботи моделі шестиключового АВ струму; у [8] – проведення дослідження моделі ЕП з прямим керуванням потужністю та моментом, запропоноване введення додатного зворотного зв'язку за потужністю.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи та результати досліджень доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на науково-технічних конференціях: XIV-XVI Міжнародних конференціях – “Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика” (Крим, 2007–2009 рр.), III-й Міжнародній науково-технічній конференції «Світлотехніка й електротехніка: історія, проблеми й перспективи» (Тернопіль, 2008 р.); на науковому семінарі

«Моделі та методи комп'ютерного аналізу електричних кіл та електромеханічних систем» Вченої ради НАН України з комплексних проблем “Наукові основи електроенергетики” (Львів, 2009 р.).

Публікації. За результатами виконаних у дисертаційній роботі досліджень опубліковано 8 наукових праць, з них 6 статей у фахових виданнях.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних джерел із 168 назв на 19 сторінках. Загальний обсяг дисертації складає 164 сторінки, у тому числі 138 сторінок основного тексту, 82 рисунки та 16 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи та її зв'язок з науковими програмами і темами, сформульовано мету та задачі досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено дані про рівень апробації, кількість публікацій за тематикою виконаних досліджень та дається загальна характеристика роботи.

У першому розділі проведено аналіз проблеми ЕМС сучасних регульованих ЕП та огляд технічних засобів для її вирішення, зокрема ШІМ керованих АВ.

У сучасних регульованих ЕП з діодним мостом на вході напруга в ланці постійного струму є нерегульована і містить пульсації, через що потребує громіздкої конденсаторної батареї. Така схема не забезпечує двонапрявленого потоку електроенергії, тому для динамічних ЕП в проміжній ланці постійного струму необхідно використовувати баластний опір з транзисторним імпульсним регулятором для скидання енергії гальмування, що поряд з ускладненням системи призводить до зростання втрат енергії. Крім цього, такі схеми споживають струми з високим вмістом вищих гармонік, що призводить до проблеми ЕМС такого ЕП з мережею живлення, а у випадку використання мережевих дроселів, з метою покращення форми струмів, споживають реактивну потужність, що знижує енергетичну ефективність (ЕЕ). Вищі гармоніки негативно впливають на якість електричної енергії, а значить на роботу інших споживачів, в тому числі ЕП. Через вищі гармоніки збільшуються втрати енергії в статорі та роторі асинхронних двигунів (АД), збільшується нагрів електродвигунів, що прискорює старіння обмоток, а також призводять до вібрацій двигуна, що зменшує термін служби його підшипників.

Про значущість проблеми ЕМС свідчать прийняті за останні два десятиліття іноземні (Std IEEE-519, Std IEC 61000-3-2, Std IEC 61000-3-4, ГОСТ 13109 та ГОСТ Р 51317.3.2) та вітчизняні (ГОСТ 13109-97, ДСТУ IEC 61000-3-2 та ДСТУ IEC 61000-3-12) стандарти на якість споживання електроенергії, що жорстко лімітують рівні кондуктивних електромагнітних завад, що вносяться технічними засобами електропостачальних організацій і споживачами електричної енергії. У стандартах зазначено допустимий рівень загального коефіцієнту гармонічних спотворень (Total Harmonic Distortion – THD) та допустимий вміст окремих вищих гармонік відносно основної гармоніки споживаного струму.

Питання ЕМС споживачів електричної енергії є актуальним. Цій тематиці присвятили свої праці відомі вітчизняні та іноземні спеціалісти: А.К. Шидловський,

А.В. Волков, Г.Г. Жемеров, І.Ф. Домнін, В.Я. Жуйков, Р.Т. Шрейнер, А.А. Ефимов, Г.С. Зиновьев, М. Kazmirkowski, R. Barlik, J. Kolar, J. Rodriguez, B. Singh, H. Akagi, E. Ismail, J. Espinoza, G. Joos та ін.

Для вирішення проблем ЕМС та ЕЕ, забезпечення вимог стандартів фактично можливі два шляхи: подавлення гармонічного вмісту у споживаному струмі за рахунок пасивних, активних, чи гібридних фільтрів; використання схем випрямлячів, які активно формують криву вхідного струму з допустимим гармонічним вмістом – АВ. У спеціальній літературі наводиться багато класифікацій АВ за певними спільними ознаками, але без конкретних сфер застосування. Лише протягом останніх кількох років наводяться поодинокі приклади використання АВ у регульованих ЕП, які проаналізовані у дисертації. Однак вони не дають змоги сформувавши загальний підхід щодо вибору АВ для ефективного використання їх у ЕП, враховуючи специфіку останніх. Виходячи із цього, визначені наукова задача і завдання досліджень.

Другий розділ присвячений обґрунтуванню перспективних топологій трифазних АВ та розширенню їх функцій для використання в регульованих ЕП.

Особливості всього різноманіття АВ можна звести до трьох основних ознак: 1) топології силових схем; 2) функції, що їх можуть виконувати АВ; 3) системи керування АВ. Зважаючи на них, АВ мають різні властивості і відповідно – вартість. Вибір конкретного технічного рішення залежить від багатьох умов, але в першу чергу – від вимог якості електроспоживання, які зумовлені конкретикою мережі живлення та особливостями роботи електромеханічної системи.

Робота великої частини ЕП супроводжується періодичними процесами, зумовленими як циклічним характером прикладання навантаження, так і тахограмою руху (розгін, гальмування, реверс). У ЕП розрізняють вісім режимів роботи, S1–S8. Для режимів S5, S7 та S8 характерні електричне гальмування двигуна, часті реверси, змінні навантаження й частота обертання. Для електричної мережі живлення такі ЕП є складними споживачами через динамічний режим роботи, пульсації активної і реактивної потужностей. Звідси випливає, що найбільші негативні впливи на мережу матимуть ЕП, які працюють у динамічних режимах. Тому доцільно об'єднати ЕП за режимами роботи у дві групи: I група – не переважають динамічні режими роботи (S1-S4, S6), II група – переважають динамічні режими роботи (S5, S7, S8).

Особливо значний негативний вплив на мережу живлення матимуть ті споживачі електроенергії, що живляться від мереж співмірної потужності. Стандарт Std IEEE-519 лімітує рівень допустимих гармонік струму відповідно до відношення потужностей і мережі.

З аналізу стандартів на якість споживання електроенергії та особливостей динаміки роботи ЕП випливає, що класифікацію ЕП з ланкою постійного струму стосовно ознак впливу на ЕМС доцільно класифікувати за потужністю ЕП та режимами його роботи (рис. 1).

Відповідно до вимог роботи електромеханічної системи вибір АВ є специфічним. Тому на стадії проектування ЕП потрібно правильно вибрати АВ, щоб його функції, поряд із функціями забезпечення ЕМС, відповідали його вартості. При виборі конфігурації АВ потрібно врахувати: потужність ЕП; допустимий рівень THD, $\cos \phi$; одно- чи двонапрявлений потік енергії; необхідність підвищувального, по-

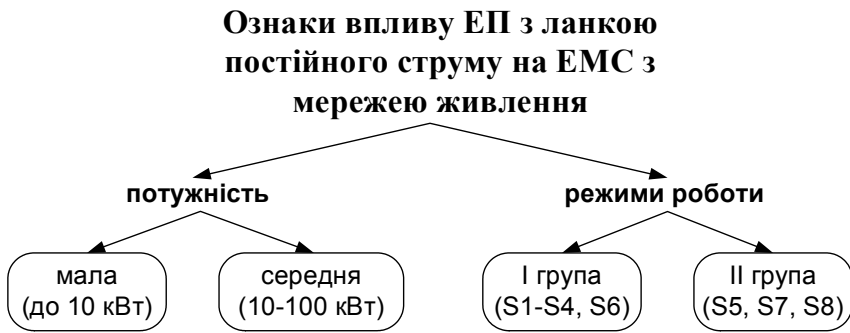


Рис. 1. Класифікація ЕП з ланкою постійного струму за ознаками впливу на ЕМС

нижувального чи підвищувально-понижувального виходу напруги в ланці постійного струму; затрати, габарити. На підставі зазначених факторів розроблено класифікацію АВ стосовно застосування їх в ЕП (рис. 2). Кількість керуванних ключів у АВ впливає на складність керування, втрати енергії на перемикання, матеріальні затрати. АВ за типом джерела на виході відрізняються системами керування та особливостями ЕП. За розміщенням зовнішньої характеристики АВ можуть бути одно- та двонаправленими за потужністю, напругою та струмом в ланці постійного струму. Відповідно до четвертої класифікаційної ознаки АВ можуть регулювати вихідну напругу в ланці постійного струму вниз чи вгору від номінального значення, що відповідає напрузі на виході діодного моста, який живиться від трифазної мережі.

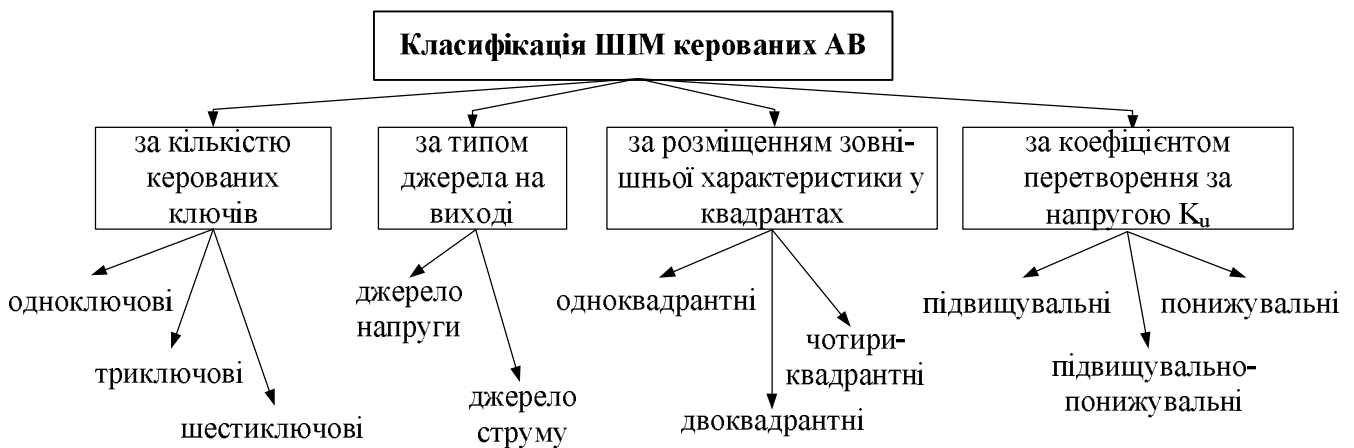


Рис. 2. Класифікація АВ стосовно їх використання в ЕП

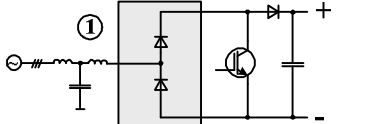
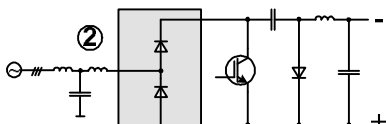
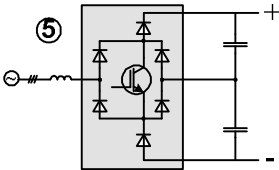
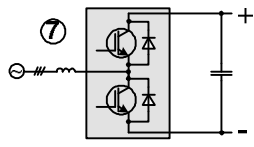
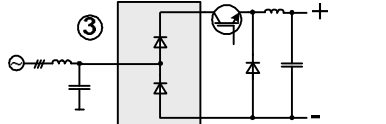
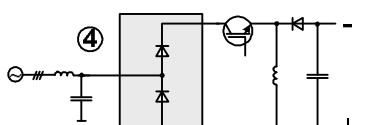
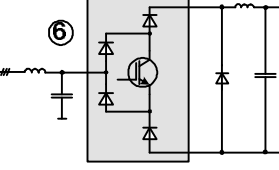
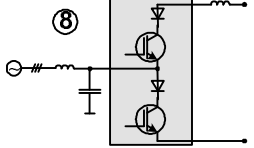
На основі проведеної класифікації АВ ми сформуваємо табл. 1, де відібрані топології найбільш перспективних для ЕП АВ. У затемнених квадратах приведені однолінійні схеми АВ (показано тільки одне плече трифазного моста). Відібрані топології АВ ми порівняли за енергетичними характеристиками ($\cos \phi$, THD), за кількістю напівпровідникових елементів, що впливає на складність реалізації, за втратами потужності на провідність та комутацію, за складністю керування та можливістю керування вхідними струмами і вихідною напругою й за матеріальними затратами. Порівняльний аналіз виконували для вихідної потужності АВ 10 кВт, що живляться від промислової мережі з завданням напруги у ланці постійного струму 600 В і частотою перемикання ключів 25 кГц. Результати порівняння показали, що одноключові АВ є найпростішими, мають найнижчі втрати потужності на провідність та комутацію, проте мають гірші енергетичні показники порівняно з три- та шестиключовими АВ. Триключові АВ мають практично однакові енергетичні показники з шес-

тиключовими, але нижчі комутаційні втрати потужності, простіші в керуванні, проте не забезпечують двонапрявлену передачу потужності.

Зіставлення класифікації ЕП за ознаками впливу на ЕМС (рис. 1) з класифікацією відібраних перспективних схем АВ (табл. 1) та на основі проведеного порівняльного аналізу цих схем дало змогу розробити рекомендації щодо застосування АВ для різних груп ЕП (табл. 2). Споживачі малої потужності, що живляться від загальних мереж, не вносять великих гармонічних спотворень, тому для них доцільно використовувати одноключові АВ, оскільки останні прості у керуванні, мають невелику вартість і характеризуються високим $\cos \varphi$, що не потребуватиме компенсації реактивної потужності. Більш негативні впливи на ЕМС матимуть ЕП середньої потужності, зокрема ті, що характеризуються динамічними режимами роботи. Тому для них потрібні більш досконалі схеми АВ, які матимуть низький коефіцієнт гармонічних спотворень. У відповідності до переважаючих режимів роботи, в ЕП середньої потужності доцільно застосовувати три- або шестиключові АВ.

Таблиця 1

**Найбільш перспективні трифазні ШІМ керовані АВ
для використання їх у сучасних ЕП**

	Однонаправлені		Двонаправлені
	Одноключові	Триклучові	Шестиклучові
Підвищувальні	 		
Понижувальні	 		

Таблиця 2

Рекомендації щодо використання АВ у відповідних групах регульованих ЕП

	I група ЕП (малої потужності)	II група ЕП (середньої потужності, у яких не переважають динамічні режими роботи)	III група ЕП (середньої потужності з переважаючими динамічними режимами роботи)
Трифазні ШІМ керовані АВ	однонаправлені		двонаправлені
	одноклучові АВ	триклучові АВ	шестиклучові АВ

Перетворювачі частоти, до складу яких входять АВ, протягом останніх років з'явилися на ринку лише у кількох відомих фірм, як, наприклад, Siemens, і є дорогими. Тому для оправдання матеріальних затрат та більш ефективного використання АВ було б доцільно накласти на нього додаткові функції. Враховуючи традиційні функції АВ, а також специфіку роботи різноманітних електромеханічних систем, нами окреслено деякі напрямки розширення функцій АВ в ЕП (рис. 3).

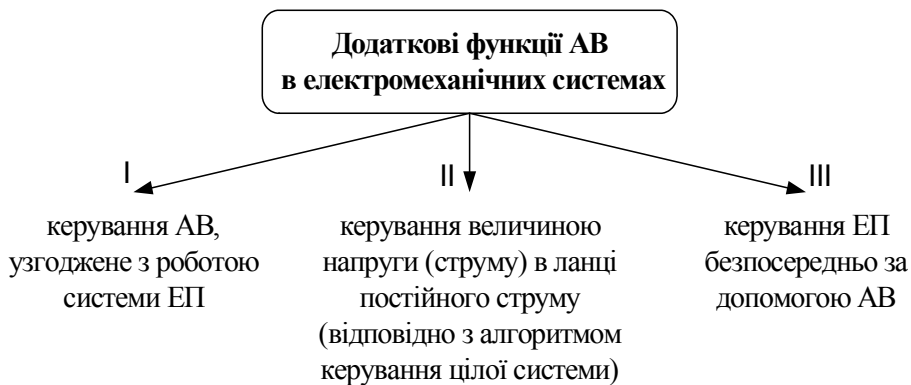


Рис. 3. Шляхи розширення функцій АВ в електромеханічних системах (зліва направо у порядку збільшення функцій)

Для багатьох варіантів ЕП потрібне широке регулювання напруги (струму) двигуна, що може здійснюватися відповідним регулюванням в ланці постійного струму відповідно до алгоритму системи керування АВ. За третього напрямку розширення функцій АВ, поряд із забезпеченням високої якості споживання електроенергії, сам здійснює повне керування електромеханічною системою відповідно до заданого алгоритму.

Системи керування різними АВ дуже відрізняються між собою. Для легшого розуміння їх роботи, реалізації як на комп'ютерних, так і фізичних моделях нами запропоновано розділити

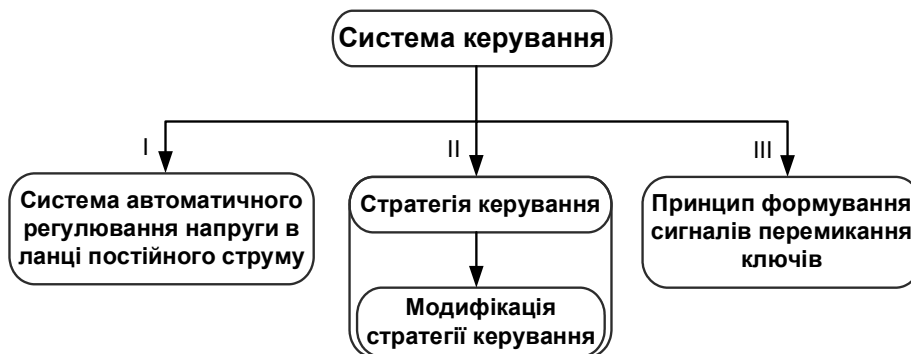


Рис. 4. Ієрархія побудови ситсем керування АВ

структуру системи керування АВ на три рівні (рис. 4), які підпорядковані один одному у напрямку нумерації (III, II, I). Основними задачами АВ є стабілізація вихідної напруги (струму) і керування струмами мережі так, щоб вони були синусоїдальної форми. Перше завдання виконує САР напруги в ланці постійного струму, фактично лінеаризована в одній точці. Інше завдання виконують стратегія керування та принцип формування сигналів перемикання ключів. Стратегії керування базуються на обчисленні та/чи вимірюванні змінних, що використовуються у керуванні, перетворенні вимірюваних сигналів до інших систем керування та формування вхідних сигналів для наступного етапу – принципу перемикання ключів. Сигнали на перемикання ключів АВ можуть формуватись безпосередньо, наприклад, з використанням ШІМ-способу або залежати від стратегії керування.

Під керуванням АВ, узгодженим з роботою системи ЕП, розуміється сигнальний зв'язок від датчиків координат та (чи) регуляторів самого ЕП до систем керування АВ. Фактично, це є сумісне керування двома транзисторними силовими перетворювачами. Для

пропоновано розділити структуру системи керування АВ на три рівні (рис. 4), які підпорядковані один одному у напрямку нумерації (III, II, I). Основними задачами АВ є стабілізація вихідної напруги (струму) і керування струмами мережі так, щоб вони були

У третьому розділі досліджено особливості систем керування одно-, три- і шестиключових АВ, відібраних як перспективні для використання у регульованих ЕП, а в деяких випадках розроблено нові системи керування АВ.

Одноключові АВ мають переваги у використанні лише одного активного ключового елемента (транзистора), внаслідок чого мають невеликі комутаційні втрати, є простими в керуванні (керуються подібно до DC/DC перетворювача) мають низькі гармонічні спотворення споживаного струму та досить високий, але залежний від навантаження $\cos \phi$. Їх топологію можна умовно розділити на три складові: вхідний пасивний фільтр, діодний міст та DC-DC перетворювач. У залежності від типу останнього міняється топологія вхідного фільтру та особливість роботи АВ. Якщо вихід АВ підвищувального типу, то струм через вхідні дроселі повинен бути перервний, а якщо понижувального, то напруга на вхідних конденсаторах має мати перервний характер. На комп'ютерних моделях нами досліджено роботу усіх чотирьох схем (1-4) у табл. 1 для вихідної потужності 5,5 кВт і проведено оцінку їх енергетичних показників. Одноключові АВ підвищувального типу (схеми 1, 2) мають THD 0,067 та 0,032 відповідно, а понижувального типу (схеми 3, 4) 0,11 та 0,087.

Перевагами триключових АВ є високі якісні показники за використання лише трьох транзисторів, трирівневий вихід (0, 0,5 і 1,0 вихідної напруги в ланці постійного струму), нижча номінальна напруга транзисторів, рівна половині вихідної напруги АВ. Якщо триключовий АВ працює з нульовим проводом, то схема розпадається на три окремі схеми, керування є нескладним і може здійснюватись за принципом, наприклад, струмового коридору. За відсутності нульового проводу керування значно ускладнюється. Для цього випадку нами розроблено нову стратегію керування, що полягає у наступному алгоритмі: ввімкнення всіх трьох ключів відбувається одночасно за сигналом досягнення будь-яким з фазних струмів нижнього рівня струмового коридору, а розмикання кожного ключа проходить вже окремо, в момент досягнення значенням струму його фази верхнього рівня струмового коридору. Ми розробили і дослідили комп'ютерні моделі обох варіантів схем триключового АВ для вихідної потужності АВ 45 кВт та напруги в ланці постійного струму

600 В. Осцилограми роботи наведені на рис. 5. Порівняно з триключовим АВ з нульовим проводом (THD=0,07-0,09) вхідний споживаний струм триключового АВ без нульового проводу характеризується нижчим коефіцієнтом THD (0,05-0,055), частота комутації є

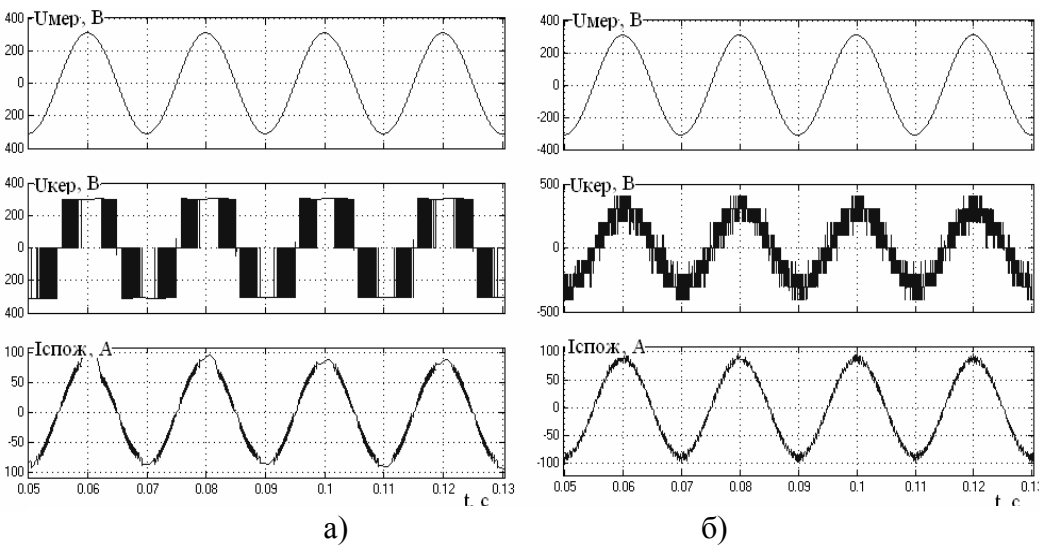


Рис. 5. Осцилограми напруги мережі живлення, напруги керування та струму споживання в одній із фаз триключового АВ з (а) та без (б) нульового проводу

нижчою та у два рази є меншою кількість перемикачів ключів за період напруги живлення при однакових величинах гістерезисних регуляторів обох варіантів АВ.

Для шестиключових АВ стратегії керування зводяться до двох базових: VOC (voltage oriented control) та DPC (direct power control), що запозичені з аналогічних стратегій векторного керування сучасних ЕП змінного струму. Стабілізація напруги в ланці постійного струму як у стратегії керування VOC (рис. 6,а), так і в DPC (рис. 6,б) вирішується за допомогою САР напруги з PI-регулятором напруги. Вихідним сигналом останнього є завдання на d-проекцію струму i_d^* для VOC, а для DPC – завдання струму у ланці постійного струму i_{dc}^* . Завдання потужності p^* для DPC отримується як добуток напруги в ланці постійного струму U_{dc} та завдання струму i_{dc}^* . Для VOC забезпечення синусоїдальної форми споживаного струму та одиничного $\cos \varphi$ досягається нульовим завданням q-проекції струму i_q^* , а в DPC – нульовим завданням реактивної потужності q^* . Керування АВ з стратегією DPC здійснюється через таблицю перемикачів на основі інформації про відхилення від заданих значень миттєвих значень активної і реактивної потужностей, які обчислюються за виразом:

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \frac{3}{2} \begin{bmatrix} u_\alpha & u_\beta \\ u_\beta & -u_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де u_α , u_β , i_α , i_β – напруги та струми в нерухомих координатах α - β , які обчислюються за реально вимірними значеннями фазних напруг і струмів трифазної мережі.

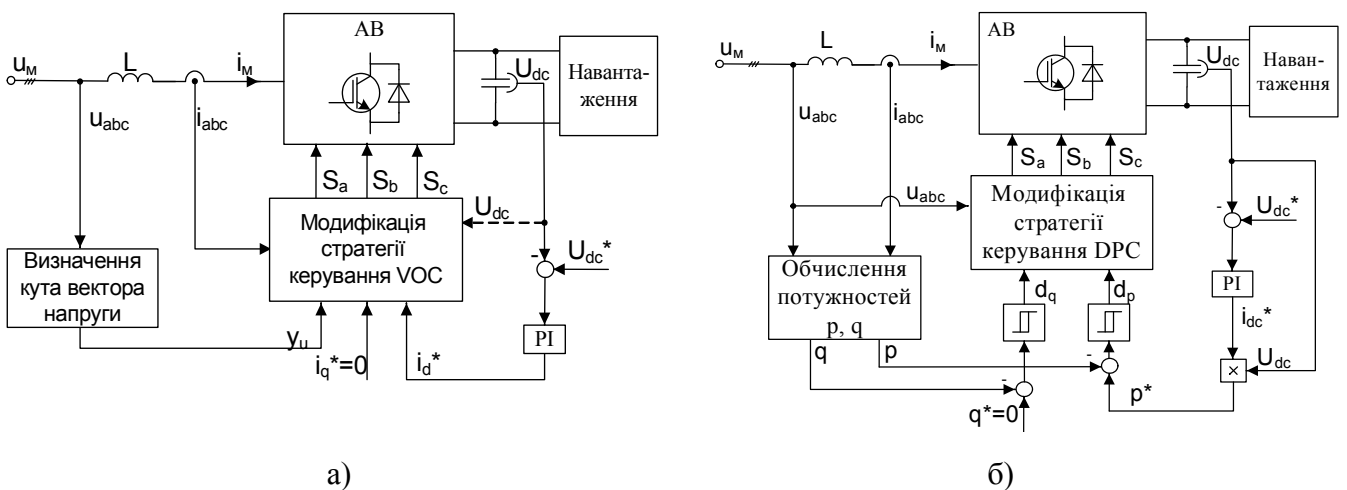


Рис. 6. Функціональні схеми АВ із стратегіями керування VOC (а) та DPC (б)

Існують різні модифікації стратегій керування VOC і DPC, які різняться між собою типами регуляторів, видами модуляції, структурою таблиць перемикачів. Основними модифікаціями для стратегії керування VOC є струмовий коридор та просторово-векторна модуляція (SVM), а для DPC – таблиця перемикачів з дворівневими регуляторами активної і реактивної потужності та шістьма секторами кола обертання зображувального вектора напруги та з використанням SVM замість таблиці перемикачів. На розроблених комп'ютерних моделях ми дослідили та порівняли між собою ці чотири модифікації стратегій керування VOC та DPC шестиключового АВ

напруги. Порівняння здійснено за відібраними показниками, що реалізовані окремими комп'ютерними блоками і відповідають нижченаведеним виразам:

– відносна похибка струму

$$\delta I = \frac{|i - i_1|}{i_1}, \quad (2)$$

де i – лінійний струм мережі, i_1 – перша гармоніка струму;

– частота перемикання

$$f = \frac{1}{(t_{i+1} - t_i)}, \quad (3)$$

де t_i – час i -го імпульсу перемикання ключів; t_{i+1} – час наступного імпульсу перемикання ключів;

– кількість перемикань за один період напруги живлення T :

$$N = \sum_0^T S_i, \quad (4)$$

де S_i – одиничний сигнал керування i -ої фази транзисторного моста.

Для коректності порівняння моделі були відлагоджені так, щоб відносна похибка струму у всіх модифікаціях була однаковою. З отриманих результатів випливають такі висновки: 1) використання SVM у стратегії керування VOC гарантує, звичайно, постійну частоту комутації, забезпечує, порівняно зі струмовим коридором, дещо меншу кількість перемикань та зниження THD, проте приводить до значно більших відхилень струму від синусоїдальної форми; 2) стратегія керування DPC, яка відзначається простішим порівняно з VOC алгоритмом керування, характеризується, проте, дещо вищою та нерівномірнішою частотою перемикань та вищим значенням THD; 3) як і в стратегії VOC, застосування SVM у стратегії DPC дає відчутні переваги у порівнянні з класичною модифікацією DPC: постійну частоту комутації, меншу кількість перемикань та зниження THD.

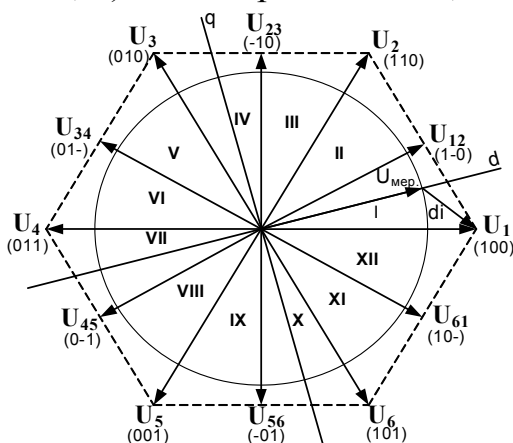


Рис. 7. Діаграма 6-ти базових векторів напруги (U_1, U_2, \dots) з проміжними векторами (U_{12}, U_{23}, \dots) 6-ключового АВ

У дисертаційній роботі запропоновано ще одну модифікацію стратегії керування DPC, яка полягає у наступному: ввести, крім шести базових векторів U_1-U_6 , між якими здійснюється релейне перемикання, додаткові проміжні вектори $U_{12}, U_{23}, \dots, U_{61}$, як це показано на рис. 7. Проміжні вектори отримуються шляхом виключення обох транзисторів плеча у відповідній фазі. Для кожного із 12-и секторів вибрані вектори, що забезпечують регулювання струмів фаз таким чином, щоб забезпечити $q \rightarrow 0$, а $p \rightarrow p^*$, структура

отриманої таблиці перемикань для запропонованої модифікації стратегії DPC приведена у табл. 3, в якій S_p, S_q – вихідні логічні сигнали гістерезисних регуляторів активної і реактивної потужностей, $U_{0,7}$ – нульові вектори.

Результати комп'ютерних досліджень різних модифікацій стратегії керування

Таблиця перемикачів для запропонованої модифікації стратегії керування DPC з 12 векторами

Sp	Sq	Сектор											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	1	U ₁	U ₁₂	U ₂	U ₂₃	U ₃	U ₃₄	U ₄	U ₄₅	U ₅	U ₅₆	U ₆	U ₆₁
	0	U ₁₂	U ₂	U ₂₃	U ₃	U ₃₄	U ₄	U ₄₅	U ₅	U ₅₆	U ₆	U ₆₁	U ₁
0	1	U ₆	U ₆₁	U ₁	U ₁₂	U ₂	U ₂₃	U ₃	U ₃₄	U ₄	U ₄₅	U ₅	U ₅₆
	0	U ₀	U ₇	U ₀	U ₇	U ₀	U ₇	U ₀	U ₇	U ₀	U ₇	U ₀	U ₇

DPC та запропонованої модифікації зведені у табл. 4, де з метою коректного порівняння задали однакову відносну похибку струму.

Аналіз результатів дослідження показує, що: збільшення кількості сек-

торів кола обертання вектора напруги до 12-и дає незначне збільшення кількості перемикачів N та зменшення коефіцієнта гармонічних спотворень THD, проте призводить до більшого коливання частоти перемикачів; використання трирівневого регулятора реактивної потужності характеризується зменшенням N, дещо гіршим THD, але більш стабільною частотою перемикачів; запропонована модифікація стратегії керування DPC дає найбільш якісні енергетичні показники: майже постійну частоту перемикачів силових ключів, що спрощує завдання фільтрації високочастотних завад; суттєве зменшення комутаційних втрат завдяки значно меншій кількості перемикачів силових ключів (майже у два рази); електромагнітну сумісність АВ з мережею із найнижчим THD.

Таблиця 4

Порівняння відомих та запропонованої модифікації стратегії DPC в АВ

	DPC з 6 секторами та 6 векторами напруги	DPC з 12 секторами та 6 векторами напруги	DPC з 6 секторами та 6 векторами напруги (2/3 – рівневий регулятор)	DPC з 12 секторами та 12 векторами напруги
δI				
f				
N	1358	1348	1518	738
THD	0,2	0,193	0,225	0,15

У четвертому розділі досліджено на розроблених комп'ютерних моделях показники роботи асинхронних та синхронних ЕП, що живляться від промислової мережі з використанням у них одно-, три- та шестиключових АВ й порівняно ці показники з аналогічними для тих же ЕП з традиційним використанням діодного моста.

Комп'ютерні експерименти з одноключовим АВ напруги підвищувального типу (схема 1 з табл. 1) та діодним мостом в асинхронному ЕП потужністю 2,3 кВт з векторним керуванням FOC на стороні АД показали, що використання АВ забезпечує THD у 4 рази менший, ніж з діодним мостом. При цьому $\cos \varphi$ при зміні навантаження коливається у межах 0,97-1.

Триключовий АВ ми дослідили у вентиляльному ЕП (рис. 8), в якому обмотки якоря синхронної машини з постійними магнітами (PMSM) ($P_H=30$ кВт, $n_H=1500$ об/хв) комутуються за сигналами дискретного давача положення ротора (ДПР). На рис. 9 приведені осцилограми напруги та струму в ланці постійного струму (U_{dc} , I_{dc}), напруги та струму мережі в одній фазі (U_a , I_a) та струмів статора (I_{s_abc}) у режимах розгону та накиду навантаження. З результатів видно що, триключовий АВ (рис. 9,б) у порівнянні з діодним мостом (рис. 9,а) забезпечує споживання практично синусоїдальних струмів, сфазованих з напругою мережі, що й підтверджується добрими енергетичними показниками (THD=0,09; $\cos \varphi = 1$), для системи з діодним мостом THD=0,41; $\cos \varphi = 0,97$.

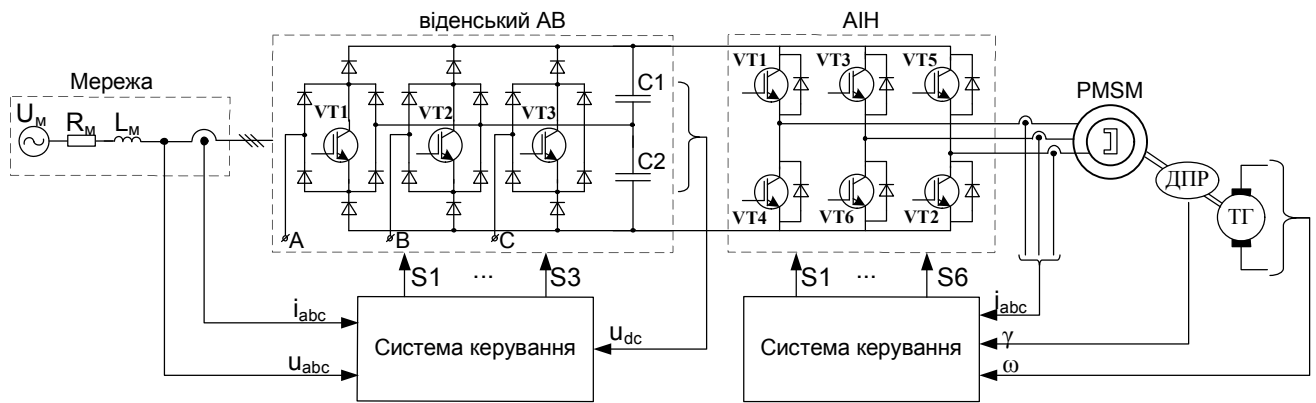


Рис. 8. Система вентиляльного ЕП з триключовим АВ та PMSM

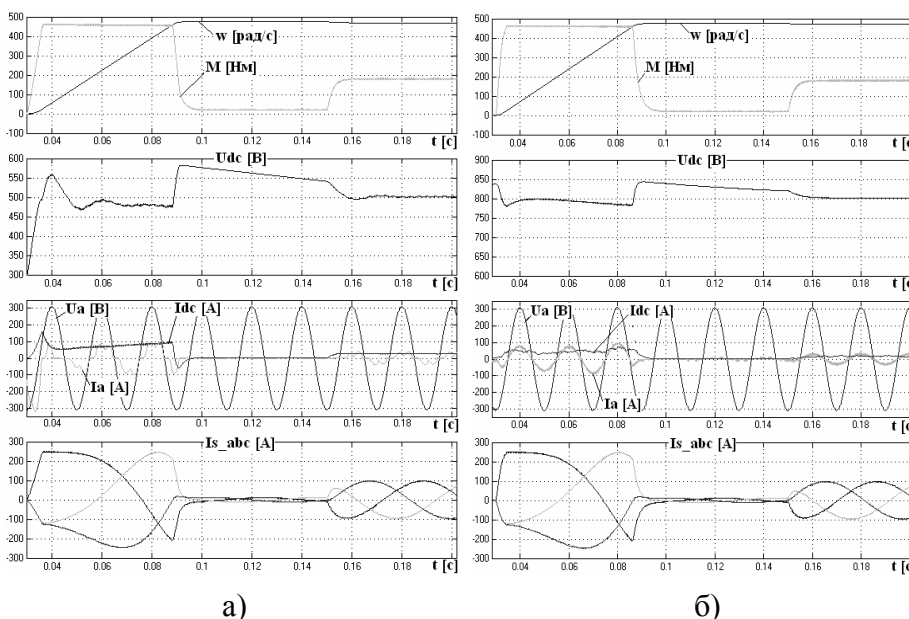


Рис. 9. Осцилограми роботи вентиляльного ЕП з PMSM із використанням діодного моста (а) та триключового АВ (б)

Шестиключовий АВ напруги досліджено в асинхронному ЕП ($P_H=45$ кВт, $n_H=575$ об/хв), в якому поєднано дві системи прямого керування параметрами, що аналогічні одна до одної (DPC-DTC), а також із введенням SVM. Осцилограми основних координат ЕП: розгону, накидання і скидання навантаження та реверсу для трьох конфігурацій варіантів живлення наведені на рис. 10.

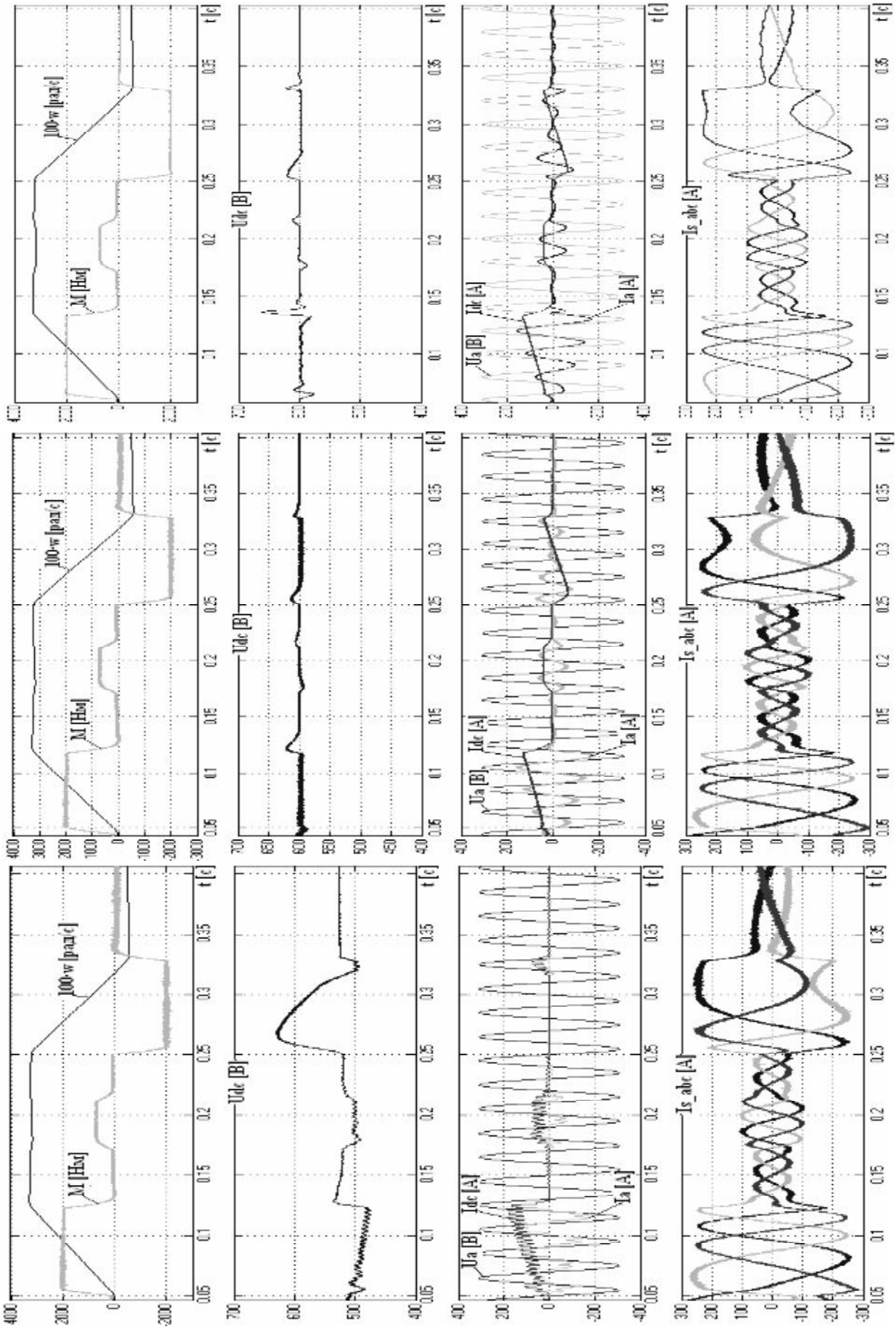


Рис. 10. Осцилограми роботи ЕП з прямим керуванням моментом та пасивним випрямлячем на вході (а), прямим керуванням потужністю та моментом (б), прямим керуванням потужністю та моментом з просторово векторною модуляцією (в)

Ємність конденсатора в ланці постійного струму для системи ЕП з діодним мостом вибрано за рекомендаціями 100 мкФ на 1 кВт, тобто 4500 мкФ для вказаної потужності ЕП, а з використанням АВ із стратегією керування DPC, а також з введенням SVM зменшено до 2000 мкФ завдяки керуванню двома транзисторними мостами на частоті ШІМ. За результатами комп'ютерного моделювання отримано наступні енергетичні показники: для варіанту ЕП традиційного виконання (рис.10,а) $\text{THD}=0,25-0,3$, $\cos \varphi=0,75-0,95$; з DPC-DTC (рис. 10,б) – $\text{THD}=0,06-0,1$, $\cos \varphi=1$; з введенням SVM (рис.10,в) – $\text{THD}=0,04-0,08$, $\cos \varphi=1$.

П'ятий розділ присвячений дослідженню кількох варіантів сучасних ЕП з багатофункціональним використанням у ньому різних топологій АВ.

Система ЕП зі стратегіями керування DPC-DTC, а також при застосуванні SVM складається з двох підсистем керування, які працюють незалежно. Для реалізації узгодженого керування АВ та ЕП нами запропоновано ввести додатний зворотний зв'язок за потужністю, який реалізується як добуток заданих значень моменту M^* та кутової швидкості ω^* з відповідним коефіцієнтом $k_{\Delta P}$ і додається до сигналу завдання активної потужності у DPC (рис. 11). Порівняно з незалежною роботою систем керування, такий зворотний зв'язок має випереджувальну дію, що забезпечує зменшення відхилення напруги в ланці постійного струму. Ми порівняли систему ЕП з прямим керуванням потужністю та моментом з такою ж системою, але з введенням SVM та з системою з додатним зворотним зв'язком. Введення додатного зворотного зв'язку дає змогу зменшити ємність конденсатора ще у два рази (до 1000 мкФ), зберігаючи при цьому такі ж показники ЕМС, частоту та кількість перемикачів ключів, а також динаміку напруги в ланці постійного струму, що і у системі з SVM.

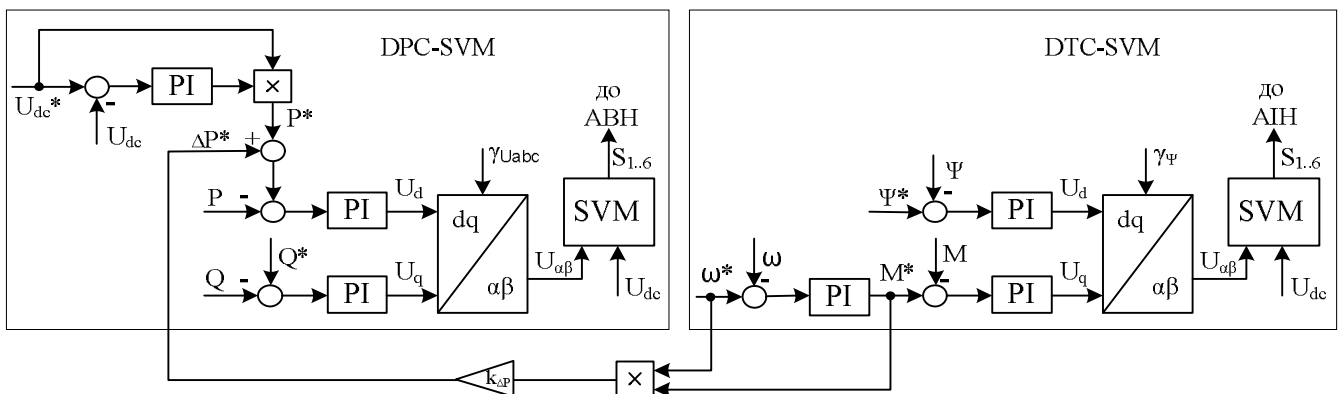


Рис. 11. Функціональна схема системи керування DPC-DTC-SVM з додатним зворотним зв'язком за потужністю

Найбільш повно розширити функції АВ можна у варіанті використання понижувального АВ струму в ЕП постійного струму, наклавши на АВ додаткові функції, що їх традиційно виконує тиристорний перетворювач (рис. 12). З метою коректного порівняння ТП з АВ струму в ЕП постійного струму було взято однакові мережеві дроселі, вхідна напруга виставлена так, щоб при номінальному навантаженні ЕП при максимальному коефіцієнті модуляції $\delta=1$ в АВ струму та мінімальному куті відкриття тиристорів $\alpha=3^\circ$ в ТП були однакові значення вихідної напруги. Після цього для коефіцієнтів модуляції $\delta=0,5$; $0,2$ було знайдено такі кути α , щоб при номінальному навантаженні вихідні напруги теж були однакові.

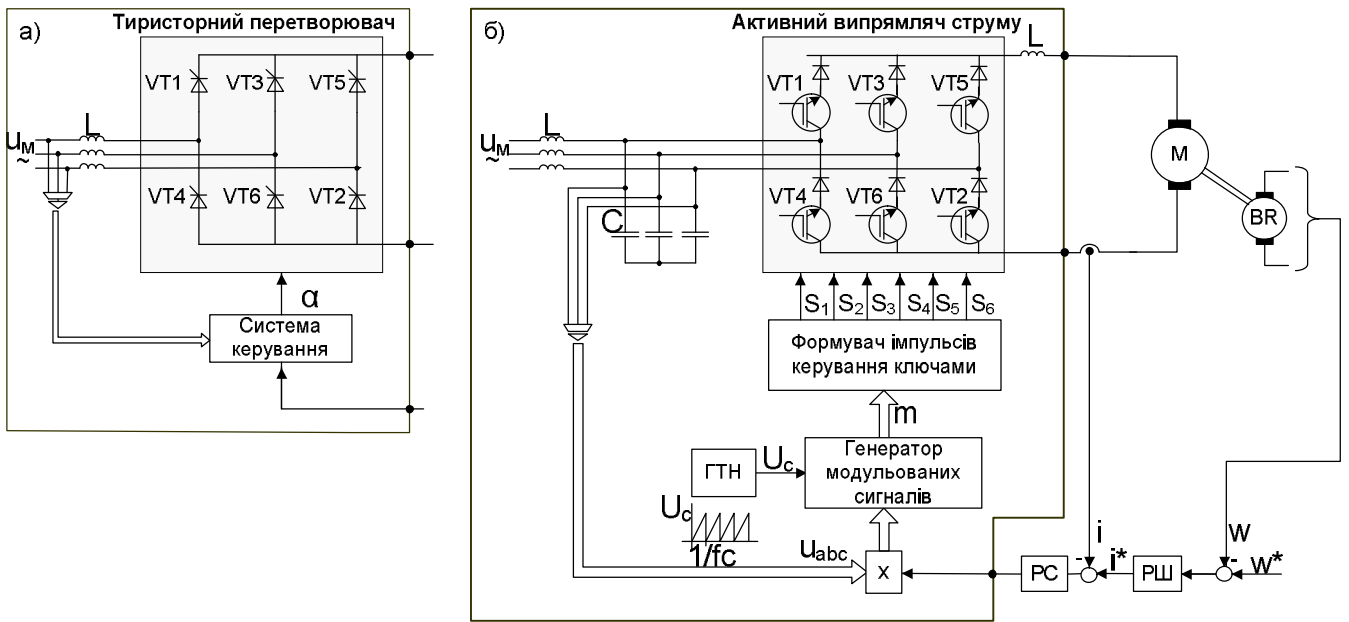


Рис. 12. Система регульованого ЕП постійного струму: а) з ТП; б) з АВ струму

Порівнюючи криві залежностей $\cos \phi$ та THD на вході АВ струму від відносних значень струму навантаження ЕП постійного струму з ТП (рис. 13), бачимо що при глибокому регулюванні швидкості ЕП використання АВ струму забезпечує значно вищі енергетичні показники, особливо $\cos \phi$. Таким чином, шестиключовий АВ струму в ЕП постійного струму забезпечує регулювання параметрів останнього поряд із задачею значного покращення ЕМС.

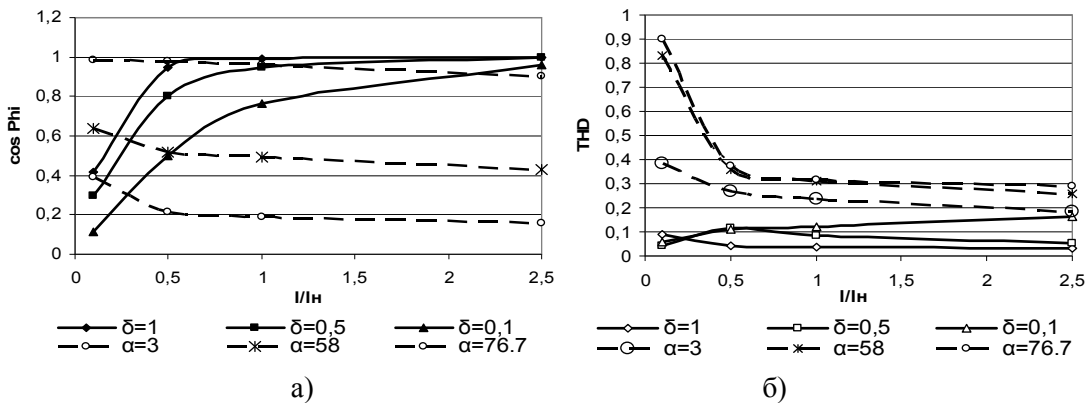


Рис. 13. Залежності $\cos \phi$ (а) та THD (б) на вході від відносних значень струму навантаження ЕП постійного струму з ТП (суцільні лінії) та з АВ струму (пунктирні лінії)

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі теоретичних досліджень та комп'ютерного моделювання вирішено актуальну задачу покращення ЕМС регульованих ЕП. Основні результати досліджень і сформульовані рекомендації можна узагальнити такими положеннями:

1. З метою енергоощадності та з розвитком автоматизованих технологічних процесів все більше ЕП стають регульованими з використанням силової напівпровідникової електроніки. Найчастіше регульовані ЕП є з ланкою постійного струму, яка традиційно складається з трифазного діодного моста та ємнісного фільтра. Такі схе-

ми споживають струми з широким спектром високочастотних гармонік, які в останні десятиліття жорстко лімітуються міжнародними та вітчизняними стандартами. Отже, проблема ЕМС сучасних ЕП є актуальною науковою задачею.

2. Найкращим способом зменшення електромагнітних завад є усунення їх в місці виникнення, що підтверджується цілою низкою розроблених пристроїв: активні та гібридні фільтри, активні випрямлячі, коректори коефіцієнта потужності, статичні компенсатори тощо. Для ЕП найефективнішим способом є застосування трифазних ШІМ керованих АВ.

3. На основі аналізу різноманітних топологій АВ можна класифікувати за ознаками щодо застосування їх в ЕП на одно-, три- і шестиключові, підвищувальні чи понижувальні, а за режимами роботи на однонапрявлені чи двонапрявлені. Для ЕП малої потужності доцільно використовувати одноключові АВ, для середньої потужності, де не переважають динамічні режими роботи – триключові АВ, а з динамічними режимами роботи – шестиключові АВ (забезпечують рекуперацію енергії гальмування в мережу).

4. У результаті комп'ютерного моделювання досліджено особливості керування одно-, три- та шестиключовим АВ, розроблено новий підхід до керування триключовим АВ та нову модифікацію для прямого керування потужністю шестиключового АВ. Запропоновано ієрархічний підхід до побудови систем керування АВ.

5. Ефективність застосування різного типу АВ підтверджена результатами комп'ютерного моделювання систем ЕП. Порівняно з діодним мостом одноключовий АВ у ЕП з векторним керуванням зі стратегією FOC забезпечує у два рази нижчий ТНД, триключовий АВ у вентильному ЕП на базі синхронного двигуна з постійними магнітами – майже у 5 разів, а шестиключовий АВ з прямим керуванням потужністю в асинхронному ЕП з прямим керуванням моментом – крім зменшення ТНД у 3-4 рази, також дає змогу зменшити ємність конденсатора у 2 рази.

6. Використання АВ, крім його прямих функцій, дає змогу покращити показники роботи ЕП. Зокрема, проведеними дослідженнями показано доцільність регулювання за допомогою АВ струму координат ЕП постійного струму чи вентильного, регулювання напруги в ланці постійного струму відповідно до закону скалярного керування АД, узгоджене керування потужністю та моментом в асинхронному ЕП для зменшення ємності конденсаторної батареї в ланці постійного струму.

7. Результати роботи можуть бути використані проектними організаціями і фірмами, які проектують і випускають сучасні ЕП, а також вже використовуються в навчальному процесі на кафедрі електроприводу і автоматизації промислових установок Національного університету «Львівська політехніка».

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Щур І.З. Активні випрямлячі – шлях до підвищення якості споживання електроенергії сучасними регульованими електроприводами / І.З. Щур, І.І. Веклинець // Електроінформ. — 2007. — №1 — С. 16—18.

2. Щур І.З. Підвищення електромагнітної сумісності та енергетичної ефективності електроприводів з пульсуючим характером навантаження на мережу живлення / І.З. Щур, І.І. Веклинець // Вісник Дніпродзержинського ун-ту. Збірник наукових

праць. Тем. випуск «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика». — 2007. — С. 201—204.

3. Веклинець І.І. Аналіз топологічних особливостей активних випрямлячів / І.І. Веклинець // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка» «Електроенергетичні та електромеханічні системи». — 2008. — С. 23—29.

4. Щур І.З. Розвиток стратегії DPC у керуванні активними випрямлячами / І.З. Щур, І.І. Веклинець // Вісн. Тернопільськ. держ. техн. ун-ту. — 2008. — Т. 13, №3. — С. 121—126.

5. Щур І.З. Електромагнітно сумісні з мережею живлення колекторні та безконтактні електроприводи постійного струму / І.З. Щур, І.І. Веклинець // Вісник НТУ «ХП». Збірник наукових праць. Тем. випуск «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика». — 2008. — С. 124—126.

6. Щур І.З. Пряме керування потужністю та моментом в чотириквadrантному асинхронному електромагнітно сумісному електроприводі / І.З. Щур, І.І. Веклинець // Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика» науково-технічного журналу «Електроінформ». — Львів: ЕКОінформ, 2009. — С. 166—169.

7. Веклинець І. Ефективність застосування активного випрямляча струму в регульованому ЕП постійного струму / І. Веклинець // «Технічні вісті». — 2009. — С. 47—49.

8. Щур І.З. Покращення показників активних випрямлячів з прямим керуванням потужністю / І.З. Щур, І.І. Веклинець // Матеріали III-ої міжнародної науково-технічної конференції «Світлотехніка й електротехніка: історія, проблеми й перспективи» Тернопіль. — 2008. — С. 108—109.

АНОТАЦІЯ

Веклинець І.І. Регульовані електроприводи з активними випрямлячами. — Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи. – Національний університет “Львівська політехніка”. – Львів, 2010.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню наукової задачі – дослідження регульованих електроприводів (ЕП) з використанням у них трифазних активних випрямлячів (АВ), з метою забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) та підвищення енергетичної ефективності ЕП.

Наявність великої кількості АВ та обмеженість прикладів їх конкретного застосування в ЕП, зумовили необхідність формування загального підходу до вибору АВ для створення нових поколінь регульованих ЕП. Для цього розроблено класифікацію АВ з врахуванням ознак впливу ЕП на ЕМС (різна потужність та переважаючі режими роботи), а також з врахуванням функцій АВ у цих ЕП. Сформульовано рекомендації щодо використання АВ в ЕП. У результаті досліджень роботи різних топологій АВ сформовано ієрархічний підхід до побудови систем керування ними та окреслено варіанти багатofункціонального використання АВ у системах ЕП.

На комп'ютерних моделях досліджено роботу трифазних АВ в асинхронному та синхронному ЕП та показано, що їх енергетичні показники порівняно з показни-

ками у таких же ЕП з традиційним використанням пасивного випрямляча є значно кращими. На комп'ютерних моделях досліджено розроблені варіанти багатофункціонального використання в ЕП АВ, які, поряд із забезпеченням ЕМС, виконують низку додаткових функцій.

Ключові слова: електромагнітна сумісність, регульований електропривод, активні випрямлячі, топології, функції і системи керування активними випрямлячами.

АННОТАЦІЯ

Веклинець І.І. Регулируемые электроприводы с активными выпрямителями. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы. – Национальный университет “Львовская политехника”. – Львов, 2010.

Диссертационная работа посвящена решению научной задачи – исследования регулируемых электроприводов (ЭП) с использованием у них активных выпрямителей (АВ), с целью обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) и повышения энергетической эффективности ЭП.

ЭП занимают более 60 % среди всех потребителей электроэнергии. Из-за роста требований к технологическим процессам и энергосбережению все больше современных ЭП становятся регулируемыми и чаще всего с промежуточным звеном постоянного тока (с диодным мостом и конденсатором на выходе). Такие ЭП потребляют электроэнергию с большим составом высших гармоник, что негативно влияет как на сеть питания, так и на других потребителей, что питаются от нее. Введения международных и отечественных стандартов на качество потребления электроэнергии стало причиной разработки разных технических средств: пассивные, активные и гибридные фильтры, активные выпрямители. Для ЭП наилучшим способом улучшения ЭМС являются АВ, поскольку могут обеспечить и другие функции кроме обеспечения ЭМС.

Для создания новых поколений регулируемых ЭП с АВ решено научно-практическую задачу разработки общего обоснованного подхода к выбору АВ для их использования в ЭП. Для этого проведено классификацию АВ с учетом признаков влияния ЭП на ЭМС (разная мощность и преобладающие режимы работы ЭП), а также с учетом дополнительных функций АВ у этих ЭП. На основе полученной классификации АВ разработано рекомендации по их использованию в ЭП. В результате исследований работы разных топологий АВ было сформировано иерархический подход к построению систем управления ними и начерчено пути расширения их функций в системах ЭП.

С помощью компьютерного моделирования в программной среде Matlab/Simulink исследовано системы управления разными топологиями АВ. Для трехключевого АВ разработано и исследовано новый принцип управления транзисторами, который позволяет существенно уменьшить частоту переключения, и тем самым уменьшить коммутационные потери энергии. При исследованиях систем управления шестиключевыми АВ были сравнены между собой все модификации стратегий управления. Предложено, разработано и исследовано новую модификацию стратегии прямого управления мощностью, которая позволяет значительно

уменьшить и стабилизировать частоту переключения транзисторов, что уменьшает потери на переключения и упрощает фильтрацию высокочастотных составляющих тока.

На компьютерных моделях исследовано работу трехфазных АВ в асинхронном и синхронном ЭП, причем были сравнены их энергетические характеристики с традиционным использованием пассивного выпрямителя в таких ЭП. Как показали исследования, использования АВ в ЭП обеспечивает ТНД в несколько раз ниже по сравнению с диодным мостом. Кроме улучшенного качества потребления электроэнергии, использования АВ в ЭП обеспечивают и другие функции, как, например, двонаправленную передачу мощности. Также в диссертационной работе разработано и исследовано компьютерные модели ЭП с АВ с расширенными функциями последних. Показано, что АВ в ЭП могут выполнять ряд других функций, что намного быстрее позволит окупить стоимость такого ЭП.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, регулируемый электропривод, активные выпрямители, топологии, функции и системы управлениями активными выпрямителями.

ABSTRACT

Veklynets I.I. Adjustable electric drive with active rectifiers. – Manuscript.

The thesis is presented for Ph.D. degree by the speciality 05.09.03 – electrical engineering complexes and systems. – Lviv Polytechnic National University. – Lviv, 2010.

Dissertation work is devoted the scientific task solution – research of adjustable electric drive (ED) with using for them active rectifiers (AV), for intention providing of electromagnetic compatibility (EMC) and improving of power efficiency of ED.

A lot of AVs and lack of examples of their practical usage, especially in ED, cause needs of general reasonable line of approach to a problem of selection ED for a making a new generations of adjustable ED. Classification of AR is developed for this purpose, taking into account the influencing feature of ED on EMC (different power and predominant operating mode), and also taking into account facilities of AR at these ED. On the basis of the got classification of AR are developed recommendations for their using in ED. Recommendations for a using AR in ED are phrased. As a result of researches of different AR topology work is formed hierarchical approach to the construction of the control systems by them and the ways of multifunctional using of ARs at systems of ED are drawn.

With computer models there is investigated the work of three-phase AR in asynchronous and synchronous ED and is shown, that their energy indices in comparison with indices in such EDs with traditional using of passive rectifier in such ED are greatly better. With computer models there is explored developed ways of multifunctional using in ED of ARs which together with providing of EMC do line of additional functions.

Keywords: electromagnetic compatibility, adjustable electric drive, active rectifiers, topology, functions and systems control of AR.