

## ВІДГУК

офіційного опонента Терещенко Тетяни Олександрівни  
на дисертаційну роботу Войтовича Юрія Сергійовича  
**«Трифазні багатопульсні випрямлячі з електронним зсувом фаз»**,  
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.09.12 – напівпровідникові перетворювачі електроенергії

**Актуальність теми дисертаційного дослідження.** В теперішній час перед розробниками пристроїв силової електроніки стоять проблеми забезпечення електромагнітної сумісності електрообладнання, підвищення ефективності роботи та покращення масових показників напівпровідникових перетворювачів. Для вирішення цих проблем для перетворювачів постійного струму зазвичай використовуються випрямлячі зі збільшеною пульсністю з електромагнітними фазозсувними трансформаторами, однак застосування фазозсувних магнітних елементів обмежує досягнення низьких масогабаритних показників перетворювача. Використання схем електронного зсуву фаз лише частково вирішує проблему покращення масових показників перетворювача; при цьому значення коефіцієнта потужності залишається обмеженим.

Перспективним шляхом подальшого вдосконалення багатопульсних перетворювачів є забезпечення вимог щодо гармонічного складу вхідного струму.

Тому тема дисертаційної роботи Войтовича Ю. С., що присвячена розробці багатопульсних випрямлячів без використання фазозсувних магнітних елементів із забезпеченням форми вхідного струму близького до синусоїдальної, є, безумовно, актуальною.

Актуальність теми дисертації підтверджується тим, що дослідження проводились відповідно до завдань НДР МОН України «Оптимізація енергетичних та динамічних показників напівпровідникових перетворювачів та систем на їх основі» (ДР № 0116U000888), в якій здобувач був виконавцем окремих розділів.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.**

Розроблені у дисертації наукові положення, висновки та рекомендації стосовно проблем створення трифазних багатопульсних випрямлячів з електронним зсувом фаз з поліпшеними масовими показниками і електромагнітною сумісністю, є точно обґрунтованими. Це підтверджується застосуванням коректних математичних викладок з використанням методів теорії електричних кіл, рішення систем системи диференціальних і алгебраїчних рівнянь при аналізі електромагнітних процесів; методу

гармонічного аналізу для визначення величин гармонік споживаного струму з мережі.

**Достовірність теоретичних положень, висновків та рекомендацій** базується на їх порівнянні з відповідними рішеннями, отриманими традиційними методами досліджень багатопульсних випрямлячів методами фізичного й математичного моделювання, а також узгодженням теоретичних розрахунків з експериментальними даними.

**До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:**

– вперше запропоновано використання «відстаючих» і «випереджаючих» кутів керування в багатопульсних випрямлячів для отримання одиничного коефіцієнту потужності.

- вперше запропоновано використання повністю керованих напівпровідникових ключів з зворотною блокуючою здібністю в трифазних випрямлячах з електронним зсувом фаз, що дозволило отримати високий коефіцієнт потужності за рахунок уніфікації використовуваних напівпровідникових ключів;

– вперше запропоновано використання широтно-імпульсної модуляції для вирівнювання вихідних напруг модулів трифазного випрямляча, що дозволило реалізувати схему перетворювача без використання вхідних узгоджувальних електромагнітних елементів ;

– вперше проведена оцінка комутаційних втрат в трифазних багатопульсних випрямлячах.

**Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.**

Розроблені здобувачем теоретичні положення створення трифазних багатопульсних випрямлячів з електронним зсувом фаз дають можливість суттєво поліпшити масові показники та забезпечити електромагнітну сумісність перетворювача з мережею. Практичне значення мають також визначення встановлену потужність магнітних узгоджуючих елементів випрямляча та комутаційних втрати;

Створено імітаційні моделі запропонованих схем випрямлячів, які дали можливість провести моделювання режимів роботи на етапі проектування трифазних багатопульсних випрямлячів.

Результати дисертаційних досліджень впроваджені в навчальний процес на кафедрі «Промислова і біомедична електроніка» НТУ «ХПІ» при підготовці студентів спеціалізації 171.01 – промислова електроніка.

**Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.**

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані в 11 наукових працях, у тому числі 5 статей у наукових фахових

виданнях України, 3 – в електронних виданнях, що включені до Міжнародної науко-метричної бази Scopus, 1 – у зарубіжному періодичному виданні.

### **Оцінка змісту дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота Войтовича Ю. С. складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків

**Вступ** містить загальні положення дисертаційної роботи, відповідно вимогам: актуальність та доцільність роботи, мету і задачі наукового дослідження, об'єкт, предмет і методи дослідження, інформацію про зв'язок роботи з науковими програмами, наукову новизну і практичне значення результатів досліджень, особистий внесок здобувача, дані про апробацію результатів роботи і публікації.

**У першому розділі** сформульовано основні вимоги щодо забезпечення прийнятого гармонічного складу струму що споживається багатопульсним перетворювачем та показано шляхи досягнення близького до одиниці коефіцієнту потужності. Для цього цілком обґрунтованим є проведений аналіз впливу роботи перетворювачів на мережу живлення. Розглянуто засоби підвищення якості струму, що споживається. Визначено показники відносної потужності різних схемних рішень фазозсувних автотрансформаторів для 12 та 18-пульсних трифазних випрямлячів, проведено порівняльний аналіз з узгоджувачами магнітними пристроями в схемах багатопульсних випрямлячів з електронним зсувом фаз.

**У другому розділі** виконано синтез схем багатопульсних випрямлячів з електронним зсувом фаз, які дозволяють покращити гармонічний склад струму, що споживається з мережі, забезпечити високий коефіцієнт потужності, та покращити масові показники системи. В даних системах фазовий зсув здійснюється за принципом «електронного зсуву».

Розглянуто синтез 12-пульсного випрямляча на базі двох 6-пульсних випрямлячів, з'єднаних паралельно. Для компенсації фазного зсуву, властивому керованому випрямлячу на одноопераційних тиристорах, другий випрямляч виконаний на повністю керованих ключах із зворотною блокуючою здібністю, який працює з «випереджаючими» кутами керування. При цьому способі зсуву фаз відсутня необхідність використання узгоджувачів пристроїв для вирівнювання середнього значення випрямленої напруги двох 6-пульсних випрямлячів.

При синтезі схем випрямлячів з пульсністю більш 12 автором слушно поставлена задача узгодження рівнів випрямлених напруг модулів багатозфазного випрямляча.

Показано, що використання одно-операційних напівпровідникових ключів в модулі з відстаючими кутами керування та повністю керовані

напівпровідникові ключі зі зворотною блокуючою здатністю в модулі з випереджаючими кутами керування призводить до появи розбалансу струмів модулів. Автор навів шляхи подолання цього розбалансу. В цьому ж розділі обґрунтовано оптимальні значення пульсності випрямлячів.

**Третій розділ** присвячений синтезу схеми 24-пульсного випрямляча та дослідженню комутаційних процесів в ньому. Схема містить чотири 6-пульсних випрямляча, а вирівнювання вихідних напруг модулів відбувається або застосуванням підвищувального (понижуючого) трифазного автотрансформатора або введенням низькочастотної ШІМ. Для виведення енергії, що накопичується в індуктивності розсіювання мережі живлення використовуються снабер. Автор ретельно дослідив комутаційні процеси в 24-пульсному випрямлячі з використанням ШІМ. Отримано співвідношення для визначення тривалості комутаційного процесу та потужності комутаційних втрат. Показано, що при незмінному значенні струму навантаження і індуктивності розсіювання мережі, можливий варіант регулювання тривалості перехідного процесу під час комутації з допомогою снаберного конденсатора (збільшенням або зменшенням рівня напруги на конденсаторі). Визначено величину напруги на конденсаторі снабера. Автором обґрунтовано вибір робочого режиму роботи снабера. Виконаний аналіз комутаційних втрат переконливо показав, що здійснення передачі накопиченої енергії під час комутації назад в мережу є недоцільним.

**У четвертому розділі** наведено результати перевірки теоретичних результатів, отриманих у попередніх розділах шляхом імітаційного моделювання напівпровідникових перетворювачів електроенергії.

Визначено основні енергетичні показники 24-пульсного випрямляча з електронним зсувом фаз який працює від мережі 380 В, на активно-ємнісне навантаження потужністю 90 кВт з використанням підвищувального та понижуючого автотрансформаторів в якості узгоджуючого пристрою,

Результати моделювання підтвердили коректність теоретичних висновків, отриманих в дисертаційній роботі.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані достатньо чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації із 102 найменувань.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи.

**По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:**

1. Невірно називати відношення струму короткого замикання до струму навантаження потужністю мережі. Це відношення є безрозмірною величиною на відміну від потужності. В стандарті IEEE 519 відношення струму короткого замикання до струму навантаження SHORT CIRCUIT CAPACITY OR  $I_{sc} / I_L$  RATIO (спроможність короткого замикання) дійсно

опосередковано характеризує потужність мережі, наприклад мережа вважається потужною  $100 < I_{sc} / I_L < 1000$ . Невдале введення терміну (або невдалий переклад з англійської мови) привів до того, що й в авторефераті і в дисертації зустрічаються посилання на потужність мережі замість відношення  $I_{sc} / I_L$ , наприклад, рис. 17 автореферату, рис. 3.52 (стор. 97), вираз «при потужності мережі живлення 20» (стор. 101 )

2. Спірним є твердження про переваги використання виключно повністю керованих вентилів в перетворювачі, оскільки з економічної точки зору це не є доцільним.

3. Невірно застосовано термін оптимальний в реченні «Для вибору оптимального варіанту автотрансформатора (АТ) з точки зору масових показників», (стор. 30) оскільки мова йде про мінімізацію показників, а не оптимізацію.

4. Одні і ті ж поняття в різних місцях дисертації позначаються різними літерами і називаються по різному, наприклад:  $L_a$ ,  $L_b$ ,  $L_c$  – на стор. 73 індуктивність провідника і індуктивність розсіювання; на стор. 90 - просто індуктивність розсіювання, на стор. 123 - індуктивність фази джерела живлення, індуктивність фази мережі.

5. Використовуються різні позначення для тієї ж самої величини: індуктивність розсіювання фази позначається як  $L_s$ , як  $L_m$  (стор 16) , як  $L_f$  (стор. 97).

6. Невдале формулювання другого пункту новизни: «вперше обґрунтовано доцільність використання повністю керованих напівпровідникових ключів...., що дозволило отримати високий коефіцієнт потужності». Неясно, як обґрунтування доцільності дозволяє отримати якийсь параметри?

7. На рис 17 -19 автореферату, табл 3.4-3.7 дис. не вказано одиниці виміру. Не позначено та не описано дані в табл 1.1-1.3, в табл 1.4-1.5 не вказано одиниці виміру струму (табл 3.4-3.7 дис)

8. Дослівне повторення останнього пункту новизни (стор 2 автореферата ) та третього пункту практичної цінності

9. Робота має деякі недоліки оформлення та помилки:

А) На стор. 17 автореферата вказано « на першому етапі були відпрацьовані ...» Далі по тексту згадування про інші етапи немає .

Б) Позначення  $I_{sc} / I_L$ , що вперше зустрічаються на стор. 8 автореферату розшифровано лише на стор. 15.

В) Рис. 3.3. та 3.10 фактично однакові

Г) Перед табл. 3.2 доцільно визначити моменти комутації  $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$  наприклад, посиланням на рис., де вказано ці моменти.

Д) Погана якість рис.4.1., 4.7, 4.8. 4.13, 4.23: текст всередині рис нерозбірливий. По всьому розділу 4 в у діаграмах рис 4.9-4.12, 4.15, 4.18-4.22, 4.24-4.26 не вказано одиниці виміру

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

## ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Войтовича Юрія Сергійовича «Трифазні багатопульсні випрямлячі з електронним зсувом фаз», за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.09.12 – напівпровідникові перетворювачі електроенергії. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, у якій вирішено актуальну науково-практичну задачу створення трифазних багатопульсних випрямлячів з використанням електронного зсуву фаз з покращеними технічними характеристиками.

Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року №567, а здобувач Войтович Юрій Сергійович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.12 – напівпровідникові перетворювачі електроенергії.

Офіційний опонент,  
професор кафедри промислової електроніки  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
доктор технічних наук, професор \_\_\_\_\_ Терещенко Т.О.

27.08.2019

Підпис Терещенко Т.О. засвідчую:

Вчений секретар «КПІ ім. Ігоря Сікорського»  
кандидат філософських наук, доцент \_\_\_\_\_ Мельниченко А.А.

