МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД

«ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

**СУЧАСНІ СИЛОВІ АКТИВНІ ФІЛЬТРИ ТА ІМПУЛЬСНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ З КОРЕКЦІЄЮ КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ**

1. БУРЛАКА Володимир Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, докторант ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

2. ПОДНЕБЕННА Світлана Костянтинівна – кандидат технічних наук, доцент, докторант ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

**РЕФЕРАТ**

**Маріуполь – 2016**

**Вступ.** Силова електроніка (силова перетворювальна техніка) і якість електроенергії нерозривно пов’язані між собою. За останні 20 років спостерігається значний розвиток перетворювачів електроенергії, в яких використовуються силові напівпровідникові компоненти. З точки зору впливу на якість електроенергії часто створюють проблеми наступні системи: імпульсні джерела живлення, дугові печі постійного струму, перетворювачі частоти у складі регульованого електропривода, електронні баласти люмінісцентних ламп, т. зв. “гнучкі” лінії змінного струму (Flexible AC Transmission). Наявність в мережах споживачів з силовими перетворювачами може призводити до проблем з функціонуванням і скороченням строку служби іншого обладнання, яке працює в цій мережі, тому питанням якості електроенергії на сьогоднішній день приділяється значна увага.

В багатьох випадках обладнання і системи, які призводять до появ проблем з якістю електроенергії, можуть бути ефективно використані для їх усунення. Приклади систем, що покращують якість електроенергії і в яких використовуються пристрої силової електроніки: силові активні фільтри вищих гармонік, статичні і адаптивні компенсатори реактивної потужності, джерела безперебійного живлення. Всі вони використовують ті ж схемні рішення перетворювачів, що і системи, які погіршують якість електроенергії.

По мірі зростання чисельності споживачів з силовими перетворювачами отримала розвиток схемотехніка перетворювачів і методи управління ними з метою усунення негативного впливу на якість електроенергії. В результаті з’явились нові класи пристроїв: це активні коректори коефіцієнта потужності, перетворювачі з підвищеною стійкістю до коливань (провалів) напруги, електронні баласти ламп з обмеженням спотворень споживаного струму (Limited Distortion Ballasts). Впровадження сучасних стандартів якості електроенергії робить обов’язковим використання подібних систем для можливості роботи в умовах Європейського союзу.

**Перша частина** наукової праці присвячена огляду схемотехніки і методів керування силовими активними фільтрами. Широке розповсюдження електричного обладнання з несинусоїдальними струмами споживання з одного боку, і наявність обладнання, чутливого до відхилень форми напруги живлення від синусоїдальної – з іншого, призводять до необхідності застосування засобів фільтрації вищих гармонік і компенсації реактивної потужності.

Фільтрація гармонік традиційно виконувалась за допомогою пасивних LC-фільтрів. Проте їх використання може призводити до паралельних резонансів з імпедансом мережі та перекомпенсації реактивної потужності на основній частоті. Крім того, для пасивних фільтрів неможлива динамічна адаптація до змін спектру гармонік струму навантаження, які треба компенсувати.

Підвищення значимості якості електроенергії призвело до розробки нових технічних засобів, які дозволяють швидко і гнучко вирішувати ці проблеми. Такі технічні засоби отримали назву силові активні фільтри (інколи зустрічається “кондиціонери мережі”, Power Line Conditioners). Вони спроможні компенсувати гармоніки струму та напруги, реактивну потужність, усувати флікер та несиметрію. Головною перевагою активних фільтрів є здатність автоматично адаптуватись до змін параметрів мережі і флуктуацій навантаження. Активні фільтри спроможні компенсувати гармоніки в широкому діапазоні частот, не піддані до впливу змін параметрів мережі, що виключає можливість резонансів між фільтром і її імпедансом. До того ж активні фільтри мають масогабаритні показники, які значно перевищують показники пасивних фільтрів.

В роботі наведено розроблені авторами оригінальні схемні рішення активних фільтрів з підвищеною ефективністю нейтралізації вищих гармонік і зменшеними втратами активної потужності. Запропоновані схемні рішення захищені патентами України на винаходи.

Наведені техніко-економічні розрахунки, які підтверджують ефективність використання запропонованих силових активних фільтрів.

**Друга частина** наукової праці містить огляд схемних рішень та методів управління активними коректорами коефіцієнта потужності (ККП). Вони представляють собою спеціалізовані AC/DC перетворювачі змінної напруги мережі живлення в постійну, яка надходить на DC/DC або DC/AC перетворювач для подальшого використання. Головною відмінністю ККП від звичайних випрямлячів є те, що споживаний струм ККП співпадає за формою з живлячою напругою, тобто коректор по відношенню до мережі становить чисто активне навантаження.

У науковій праці наведені схемні рішення й алгоритми управління одно- і трифазними AC/DC перетворювачами з корекцією коефіцієнта потужності. Крім огляду існуючих технічних рішень, наведено більше десяти оригінальних схемних рішень інверторних джерел живлення, розроблених авторами. Окремо розглянуто схеми перетворювачів з гальванічною (трансформаторною) розв'язкою виходу. В галузі схемотехніки інверторних джерел живлення та алгоритмів керування ними авторами отримано більше двадцяти патентів на винаходи.

**Третя частина** роботи стосується розроблених авторами праці засобів вимірювання: широкосмугового аналізатору якості електроенергії і реєстраторів електричних сигналів.

Розроблений аналізатор якості електроенергії має широкі можливості. Вимірювані параметри: середньоквадратичні напруга і струм; активна, реактивна і повна потужність; коефіцієнт потужності; cosφ по першій гармоніці; частота; активна потужність; напруга і струм першої гармоніки; коефіцієнт гармонік напруги і струму; коефіцієнт амплітуди напруги та струму.

Для промислових вимірювань авторами розроблений універсальний реєстратор електричних сигналів ВК-214. Його характеристики: 4 канали напруги з диференціальними входами (~250V); 4 канали струму (~10A) з активною компенсацією опору вторинних обмоток ТС (фазова погрішність <2° при 50 Гц); 4 ізольованих дискретних входи (24-220 В, пост./зм. струм); АЦП: 12 біт, 9,3 кГц при 8 каналах; підключення по USB Full Speed з можливістю живлення від шини і передачею даних на ПК в реальному часі; можливість запису осцилограм на MMC / SD / SDHC карту пам'яті; оригінальний алгоритм стиснення даних осцилограм; можливість початку запису за умовою (робота в режимі аварійного реєстратора). Отримані дані можуть бути експортовані в MathCad для подальшої обробки, або обробка отриманих даних може здійснюватися з використанням розробленого авторами програмного забезпечення.

Для вирішення завдань запису електричних параметрів авторами розроблено програмно-апаратний комплекс, що складається з реєстратора і спеціалізованого програмного забезпечення для ПК [107]. Реєстратор має 10 аналогових каналів з гальванічною розв'язкою і змінними межами виміру (± 400 мВ / ± 200 B / ± 400 B). Частота вибірок по кожному входу становить 30 кГц, дозвіл 12 біт, причому справжня частота вибірок складає 120 кГц з подальшою програмною децимацією та попередньою низькочастотної фільтрацією sinc-фільтром. Живлення вхідних кіл здійснено від DC-DC перетворювача з «м'яким» перемиканням силового ключа і десятьма стабілізованими гальванічно розв'язаними виходами. Застосування розробленого програмно-апаратного комплексу забезпечує високошвидкісне вимірювання і запис параметрів процесів для подальшого аналізу і обробки.

**Об’єктом дослідження, що лежить в основі наукової праці** є процеси, що протікають в електричній мережі та джерелах живлення (перетворювачі частоти, зварювальні джерела живлення, імпульсні джерела живлення засобів телекомунікацій, тиристорні регулятори напруги та ін.), що мають 1-фазний або 3-фазний вхід та підключаються до мережі 0,4 кВ, та методи і засоби фільтрації вищих гармонік в зазначеній мережі.

**Метою** **наукової праці** є створення принципово нових концепцій і методів підвищення енергетичної ефективності електричних мереж; підвищення енергоефективності силових активних фільтрів, імпульсних джерел живлення; зниження втрат електроенергії за рахунок значного зменшення або уникнення спотворень форми кривої струму, що споживається; зниження масогабаритних параметрів активних фільтрів та джерел живлення; суттєва економія електротехнічних матеріалів.

**Задачі**, на вирішення яких спрямовано наукову працю:

1. створення теоретичних основ проектування енергоефективних джерел живлення з підвищеним коефіцієнтом потужності та урахуванням проблем електромагнітної сумісності;
2. розробка методів і способів підвищення енергоефективності електротехнічного комплексу «нелінійне навантаження – силовий активний фільтр» за рахунок зниження втрат у ньому і розробки алгоритмів управління, які забезпечують мінімізацію втрат потужності в електричній мережі;
3. зменшення втрат електроенергії в розподільчій мережі за рахунок зниження реактивної потужності, потужності спотворень та часткової компенсації вищих гармонік струму інших нелінійних навантажень цієї ж мережі.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

1. Розроблено нові принципи проектування силових активних фільтрів, в основі яких лежить розподіл задач придушення вищих гармонік в різних частотних діапазонах, що дозволяє підвищити ефективність силових активних фільтрів та використовувати їх в мережах середнього рівня напруги без додаткового узгоджувального обладнання.

2. Вперше розроблено метод управління силовим активним фільтром з додатковою коригувальною ланкою з використанням системи управління основним інвертором з послідовною корекцією на базі швидкого перетворення Фур’є та системи з від’ємним зворотним зв’язком для додаткової коригувальної ланки, що дозволяє забезпечити високу швидкодію фільтру при мінімізації потужності цієї ланки.

3. Розроблено нові підходи до створення енергоефективних інверторних джерел живлення, в яких використовується пряме перетворення електричної енергії на високій частоті і які мають активну корекцію коефіцієнта потужності.

**Практична значимість** наукової праці полягає в тому, що її результати дозволять налагодити виробництво силових активних фільтрів та інверторних джерел живлення, що будуть конкурентоспроможними на світовому ринку завдяки покращеним масогабаритним та якісним показникам і відповідності світовим стандартам якості електроенергії. Використання розробленого обладнання в умовах енергопостачальницьких організацій дозволить значно підвищити енергоефективність електричних мереж за рахунок компенсації реактивної потужності, вищих гармонік струму та напруги, та забезпечити необхідні показники якості електроенергії в електричних мережах; в умовах промислових підприємств – значно зменшити втрати електроенергії в розподільчих мережах підприємства, зменшити витрати на оплату споживаної електроенергії за рахунок компенсації реактивної потужності, підвищити надійність та ефективність роботи обладнання, підвищити якість продукції, що випускається.

Розрахунок **техніко-економічної ефективності** впровадження силових активних фільтрів проводився в умовах підстанції ПС-1 ДП «Маріупольський морський торгівельний порт» в 2013 році. Основне навантаження цієї підстанції складають конвеєри, вантажопідйомне обладнання (портальні крани, перевантажувачі, та ін.). Навантаження представляє собою як електропривод з перетворювачами частоти та асинхронний електропривод без частотного регулювання. До шин 0,4 кВ підстанції підключені пристрої компенсації реактивної потужності – батареї статичних конденсаторів (БСК) зі ступеневим регулюванням. Однак у зв’язку з впровадженням частотного приводу на шинах підстанції виникли наступні проблеми: 1) поява перенапруги на шинах підстанції, що призводила до аварійного вимикання частотного привода; 2) перевантаження батарей конденсаторів струмами вищих гармонік; 3) перекомпенсація реактивної потужності. Таким чином, БСК було відключено, а компенсація реактивної потужності – унеможливлена.

Для рішення означених проблем було вирішено встановити силовий активний фільтр (САФ) на шинах підстанції 0,4 кВ, потужність якого була розрахована за запропонованою методикою, що дозволило компенсувати вищі гармоніки струму від перетворювачів частоти та забезпечити плавність компенсації реактивної потужності при сумісному використанні БСК та САФ.

Економічний ефект від установки САФ полягає в наступному:

- можливість включення БСК1 в номінальному режимі і ефект від компенсації реактивної потужності;

- зниження втрат активної потужності в трансформаторі за рахунок зниження неактивних складових у споживаної струмі;

- зниження втрат активної потужності в мережі за рахунок зниження неактивних складових у споживаної струмі.

Ефект від підвищення показників якості електроенергії для решти споживачів, підключених до обраної секції шин враховувати не будемо, оскільки він незначний в порівнянні з перерахованими вище.

Вихідні дані для розрахунку (станом на 04.2013) наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Встановлена потужність БСК, кВАР | Встановлена потужність активного фільтру (струм на фазу), А | Вартість 1кВАР\*год реактивної ел.енергії, грн. | Вартість 1кВт\*год активної ел.енергії, грн. | Вартість САФ, тис.грн | Вартість БСК, тис.грн |
| 250 | 100 | 0,1 | 0,95 | 128,5 | 16,5 |

Дані розрахунку економічного ефекту наведені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунку економічного ефекту (ЕЕ), тис. грн.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ЕЕ від компенсації реактивної потужності | ЕЕ від зниження втрат потужності в трансформаторі | ЕЕ від зниження втрат потужності в САФ | Загальний ЕЕ  |
| 219,1 | 2,1 | 4,95 | 226,15 |

Строк окупності складає близько 0,7 років.

**Дані промислових випробувань та впровадження.** Впродовж червня 2013 року – лютого 2014 року в технологічний процес ДП «Маріупольський морський торгівельний порт» було впроваджено зварювальне джерело живлення для зварювання кольорових металів електродом, що не плавиться, яке містило активний пристрій усунення постійної складової. Використання даного джерела живлення дозволило підвищити стійкість вольфрамових електродів, підвищити якість зварювальних з’єднань, забезпечити стабілізацію електричних параметрів процесу зварювання. Економічний ефект від впровадження склав 50 тис.грн.

Впродовж липня 2014 – грудня 2015 року було проведено опробування джерел живлення зварювального устаткування та ін. технологічних процесів з вбудованими функціями активної фільтрації вищих гармонік в умовах ПАТ «Маркограф». Джерела мають корекцію коефіцієнта потужності і можливість їх використання в якості паралельних активних фільтрів вищих гармонік. Випробування показали відповідність технічних характеристик обладнання заявленим і підтвердили поліпшення якості електроенергії в розподільній мережі. Очікуваний економічний ефект складає 80 тис. грн.

**Загальна кількість публікацій за темою наукової роботи** складає: 87 публікацій: 1 монографія; 26 статей, в тому числі 4 статті у наукометричних та міжнародних виданнях (1 – у виданні, що входить до наукометричної бази SCOPUS); 32 тези доповідей конференцій, 28 патентів на винаходи.

Загальна кількість публікацій Бурлаки В.В. на 20.01.2016 р. складає 167 публікацій.

Загальна кількість публікацій Поднебенної С.К. на 20.01.2016 р. складає 87 публікацій.