

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ КВАЗІПЕРІОДИЧНИХ КОЛИВАНЬ У СИСТЕМАХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ UNIFIED POWER QUALITY CONDITIONER

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Квазіперіодичні коливання визначаються як коливання, частота яких варіюється навколо деякого середнього значення з часом, і вони можуть виникати у різноманітних складних системах електроенергетики через динамічні взаємодії між компонентами мережі. Основний акцент дослідження полягає в аналізі впливу UPQC на характеристики цих коливань та визначенні оптимальних параметрів для мінімізації їхнього впливу. Застосування UPQC може взаємодіяти з різними електромеханічними системами, такими як електродвигуни, і викликати тимчасові незатухаючі коливання. Отже, дослідження висвітлює необхідність глибокого розуміння цього впливу та розробки стратегій для ефективного використання UPQC в умовах реальних електроенергетичних систем.

Ключові слова: UPQC, квазіперіодичні коливання, якість електропостачання, асинхронні двигуни, резонансна частота.

Abstract

Quasi-periodic oscillations are defined as oscillations whose frequency varies around some average value over time, and they can occur in a variety of complex power systems due to dynamic interactions between network components. The main focus of the study is to analyze the impact of UPQC on the characteristics of these fluctuations and to determine the optimal parameters to minimize their impact. The UPQC application can interact with various electromechanical systems, such as electric motors, and cause transient undamped oscillations. Consequently, the study highlights the need for a deep understanding of this impact and the development of strategies for the effective use of UPQC in real power systems.

Keywords: UPQC, quasi-periodic oscillations, quality of power supply, asynchronous motors, resonant frequency.

Вступ

Дослідження динаміки квазіперіодичних коливань у системах з використанням UPQC є дуже важливим для стабільної роботи системи електропостачання. Квазіперіодичні коливання виникають унаслідок різноманітних динамічних впливів у сучасних електроенергетичних мережах та можуть значно впливати на ефективність та стабільність систем. UPQC, в свою чергу, є потужним інструментом для втручання в ці динамічні процеси та вирішення проблем низької якості електроенергії.

Зазначено, що застосування UPQC може впливати на динаміку системи, і тому важливо провести глибоке дослідження цього питання [1]. У цьому контексті взаємодія UPQC зі складовими сучасних електромеханічних систем, зокрема з електродвигунами, які можуть викликати тимчасові незатухаючі коливання та транзиторні явища. Дослідження цих аспектів має велике практичне значення для ефективного впровадження UPQC в електроенергетичні мережі та забезпечення стабільності їхньої роботи при змінних умовах навантаження.

Результати дослідження

Сучасні електроенергетичні системи стикаються зі значущими викликами, пов'язаними з низькою якістю електроенергії, що виникає внаслідок різноманітних факторів, таких як гармоніки, флікери, коливання напруги та інші електричні збурення. Однією з методів вирішення цих проблем є використання Unified Power Quality Conditioner (UPQC). UPQC є потужним пристроєм, розробленим для компенсації реактивної потужності, фільтрації гармонік та управління різноманітними аспектами якості електроенергії.

Дослідження роботи UPQC на генерацію квазіперіодичних коливань проводилось з нелінійним навантаженням (випрямляч, схема Ларіонова) з комплексним опором $12+j1,256 \text{ Ом}$, паралельне лінійне навантаження з опором $35+j15 \text{ Ом}$ та навантаження у вигляді асинхронного двигуна потужніс-

тю $P_{nom} = 38 \text{ кВт}$. Номінальна напруга мережі $U_{nom} = 400 \text{ В}$. UPQC ввімкнено на відстані 200 м від джерела живлення, 10 м від асинхронного двигуна та 20 м від нелінійного навантаження. Час моделювання $t = 0,3 \text{ с}$. Моделювання виконано в програмі *Matlab / Simulink*. Схема досліджуваної установки та схема кола керування напругою конденсатора описана в [1-3].

Було проведено два досліді вмикання UPQC з використанням паралельно-послідовної топології для відновлення напруги, компенсації реактивної потужності, вищих гармонік струму та напруги. Параметри UPQC для першого досліду: $P_{\text{трансформатора}} = 2,5 \text{ кВт}$, $L_{sh} = 1,5 \text{ мГн}$, $C_{sh} = 10 \text{ мкФ}$, $L_{se} = 10 \text{ мГн}$, $C_{se} = 300 \text{ мкФ}$, $C_{1,2} = 3000 \text{ мкФ}$, $U_{dcref} = 1000 \text{ В}$. Опори $R_{se} = 1 \text{ Ом}$ та $R_{sh} = 1 \text{ Ом}$ однаково у двох випадках. Ввімкнення UPQC моделюється при зашунтованій вторинній обмотці трансформатора *Tw2* (рис. 1).

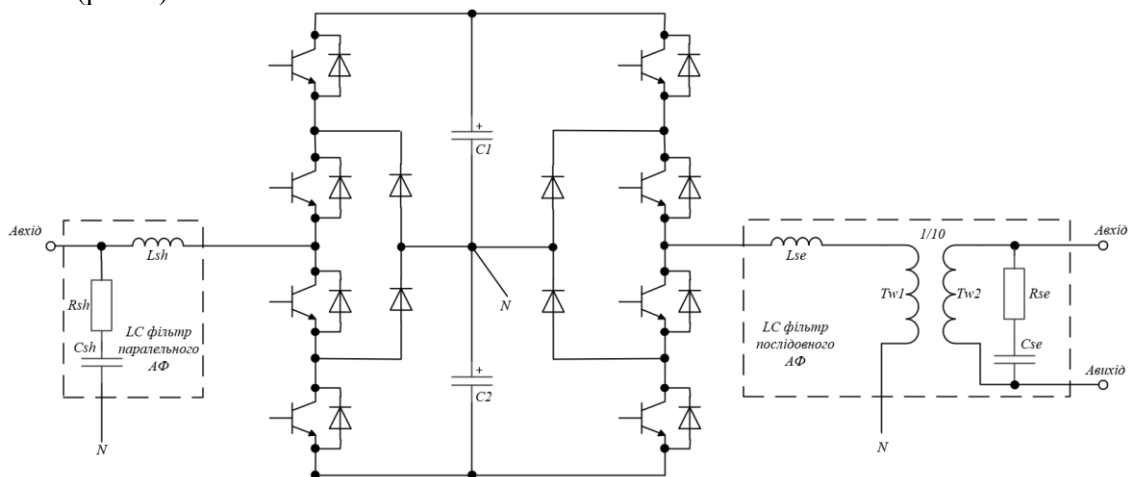


Рис. 1. Принципова схема інвертора UPQC при шунтуванні вторинної обмотки *Tw2* трансформатора

При роботі UPQC в даному режимі відбувається генерація квазіперіодичних коливань під час заряду конденсатора паралельного активного фільтра, амплітуда яких досягає 10 В для даної потужності ввімкненого двигуна (рис. 2). Дане явище спричиняє коливання активної потужності в мережі з амплітудою 500 Вт.

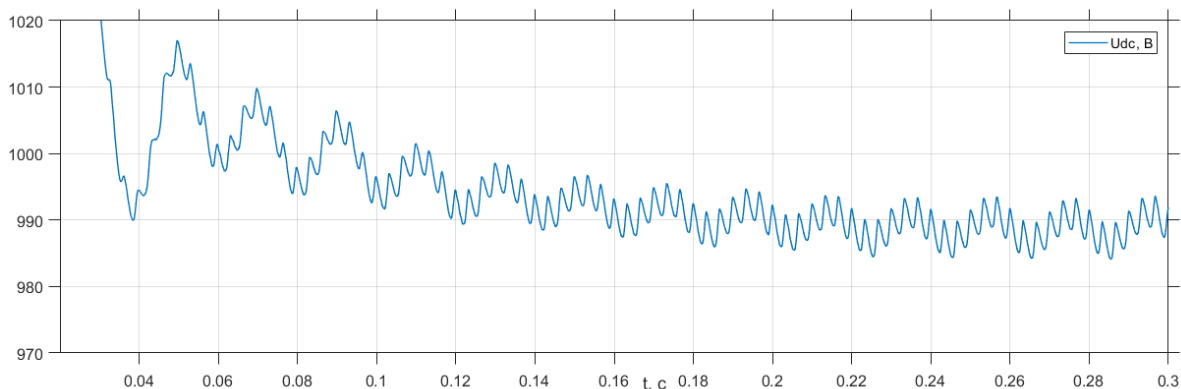


Рис. 2. Графік зміни напруги на конденсаторі паралельного активного фільтра при шунтуванні вторинної обмотки *Tw2* трансформатора

Для правильної роботи UPQC в даному режимі необхідно підібрати шунтуючий конденсатор C_{se} великої ємності, це необхідно для намагнічування сердечник трансформатора. При малій ємності трансформатор буде не в змозі вийти в режим насичення.

Для керування режимом компенсації вищих гармонік напруги використовують вихідні реактори L_{se} . Для ефективної компенсації вищих гармонік напруги необхідно великі значення індуктивності. При не правильному розрахунку можливо виникнення резонансу на 31 гармоніці, що виведе систему з стану стійкості (рис. 3).

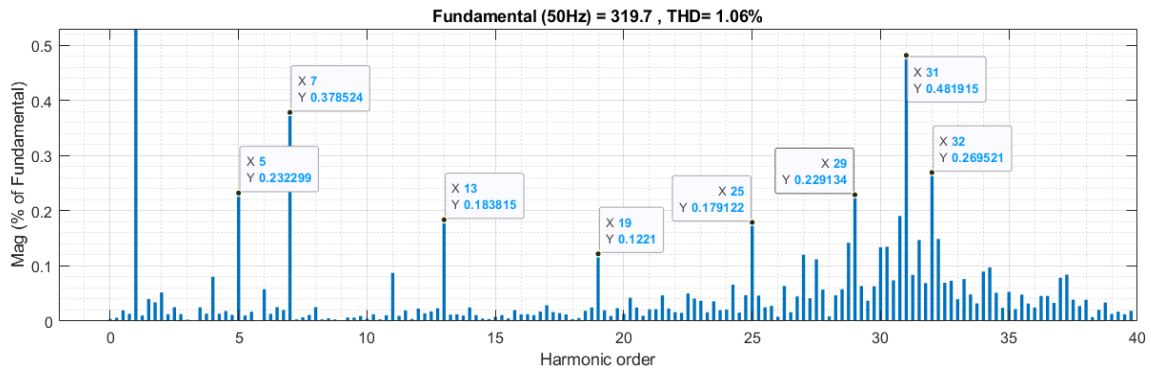


Рис. 3. Розклад напруги мережі в гармонічний ряд Фур'є

Дані квазіперіодичні коливання можна компенсувати зміною розміщення вихідної ємності C_{se} . Параметри UPQC для другого досліджу: $P_{\text{Трансформатора}} = 2,5 \text{ кВт}$, $L_{sh} = 1,5 \text{ мГн}$, $C_{sh} = 30 \text{ мкФ}$, $L_{se} = 0,5 \text{ мГн}$, $C_{se} = 47 \text{ мкФ}$, $C_{1,2} = 5000 \text{ мкФ}$, $U_{dcref} = 1000 \text{ В}$. Ввімкнення UPQC моделюється при зашунтованій первинній обмотці трансформатора $Tw1$ (рис. 4).

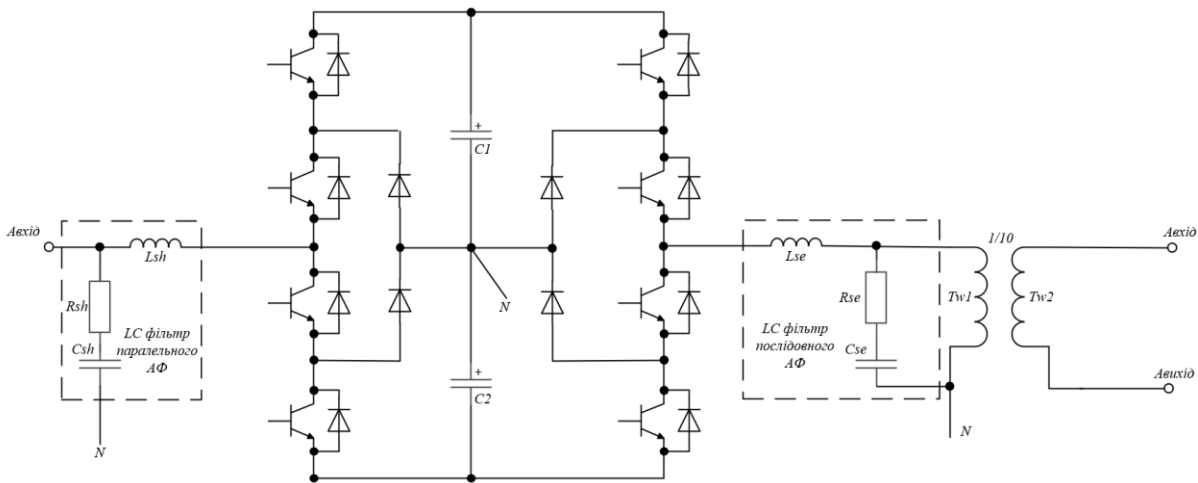


Рис. 4. Принципова схема інвертора UPQC при шунтуванні первинної обмотки $Tw1$ трансформатора

При роботі UPQC в даному режимі помилка генерування квазіперіодичних коливань майже повністю зникає (рис. 5). Даний режим залишається стійким не залежно від потужності двигуна. Недоліком даної топології є не значний резонанс по 19 гармоніці (рис. 6) та необхідність великої ємності конденсаторів $C_{1,2}$ для повної компенсації реактивної потужності.

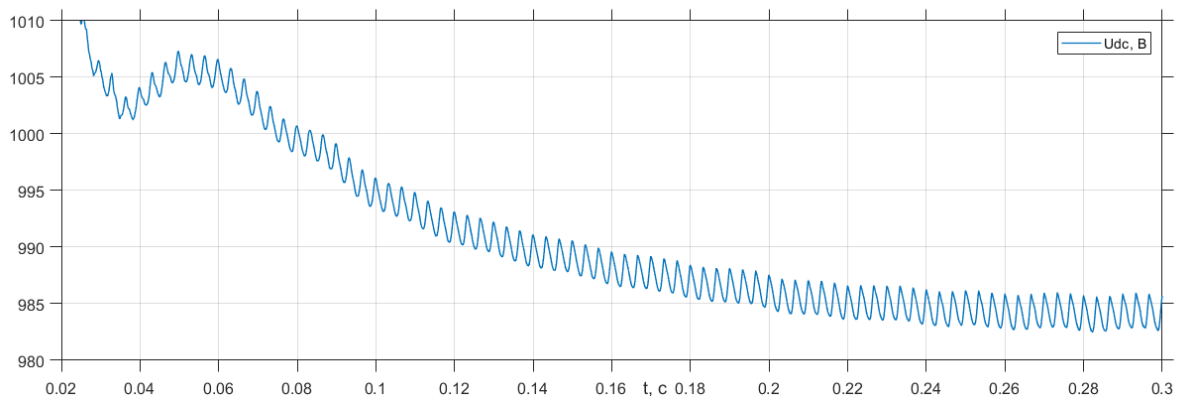


Рис. 5. Графік зміни напруги на конденсаторі при шунтуванні первинної обмотки $Tw1$ трансформатора

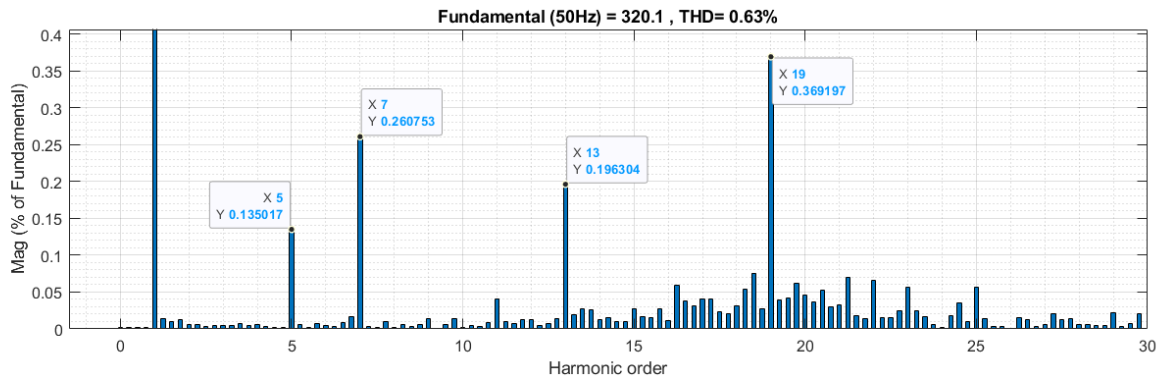


Рис. 6. Розклад напруги мережі в гармонічний ряд Фур'є

Висновки

У випадку шунтування вторинної обмотки $Tw2$ трансформатора, який послідовно вмикає послідовний активний фільтр в мережу та наявності двигунів в навантаженні, можуть виникати квазіперіодичні коливання, які генерує UPQC. При роботі пристрою з лінійним та нелінійним навантаженням даної проблеми не виникає. Для вирішення цієї проблеми запропоновано змінити місце розташування конденсатора та зашунтувати первинну обмотку $Tw1$ трансформатора, щоб повністю вирішити це питання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурбело М. Й. Дослідження ефективності схеми керування напругою конденсатора уніфікованого регулятора якості електроенергії для зменшення коливань напруги / М. Й. Бурбело, Д. Ю. Лебедь // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2023. – № 1. – С. 21–28.
2. Бурбело М. Й. Розробка цифрового блоку схеми керування напругою конденсатора активного фільтра [Електронний ресурс] / М. Й. Бурбело, Д. Ю. Лебедь // Матеріали LI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 31 травня 2022 р. – Електрон. текст. дані. – 2022. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2022/paper/view/15298>.
3. Бурбело М. Й. Оптимізація часу заряду/розряду конденсаторів активного фільтра під час коливань напруги / М. Й. Бурбело, Д. Ю. Лебедь, О. Р. Лещенко // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2022. – № 3. – С. 119–124.

Лебедь Денис Юрійович – аспірант кафедри ЕСЕМ, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: 4e15b.lebyd@gmail.com

Lebed Denys Yuriiovych – Department of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: 4e15b.lebyd@gmail.com