

В. В. Мацейко

ДЕМПФУВАННЯ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ КОЛИВАНЬ ПОТУЖНОСТІ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ

Розглянуто актуальні питання дослідження низькочастотних коливань потужності в об'єднаній електроенергетичній системі (ОЕС) України в умовах упровадження сучасних систем моніторингу перехідних режимів (СМІР). Проаналізовано методи та засоби зменшення впливу низькочастотних коливань на режими роботи ОЕС шляхом їх демпфування. Проведено моделювання режимів роботи енергосистем з тиристорною установкою поздовжньої компенсації (ТУПК) та аналіз впливу ТУПК на демпфування низькочастотних коливань потужності.

Ключові слова: *низькочастотні коливання, моніторинг перехідних режимів, демпфування, системи гнучкої передачі змінним струмом, тиристорна установка поздовжньої компенсації.*

Вступ

Упровадження нових генерувальних потужностей, збільшення навантаження електроенергетичних систем (ЕЕС), проведення організаційно-технічних заходів, спрямованих на модернізацію, економічний і технологічний розвитку призводять до того, що об'єднані електроенергетичні системи (ОЕС) набувають нових властивостей, серед яких пов'язані з можливістю порушення їхньої стійкості за рахунок появи низькочастотних загальносистемних коливань режимних параметрів, які можуть зумовити значні соціально-економічні втрати. Наявність низькочастотних коливань (НЧК) може призвести до порушення стійкості й значно знизити допустимі перетоки потужності в системі [1]. Через це дослідження методів і засобів зменшення впливу НЧК на режими роботи ЕЕС є одним із основних завдань диспетчерського управління.

Це завдання є актуальним, особливо для ОЕС України, яка характеризується наявністю потужних ЕЕС, пов'язаних між собою відносно слабкими міжсистемними зв'язками. Крім того залучення енергоблоків теплових електростанцій (ТЕС), а також додаткових гідроагрегатів (ГА) гідроелектростанцій (ГЕС) до автоматичного вторинного регулювання частоти та потужності, а енергоблоків ТЕС – до первинного регулювання з метою підвищення ефективності роботи ОЕС України створить високу ймовірність появи небезпечних НЧК потужності за неналежного налаштування регуляторів. До того ж, здійснення ефективного демпфування коливань потужності є однією з обов'язкових вимог асоціації ENTSO-E щодо можливості реалізації паралельної роботи ОЕС України з енергетичним об'єднанням європейських країн.

Особливу увагу цьому питанню почали приділяти з упровадженням систем моніторингу перехідних режимів (СМІР), які створили нові можливості виявлення НЧК як в режимі off-line, так і в on-line режимі [2]. Це, насамперед, пов'язано з періодом дискретизації даних, з якою здійснюється синхронна реєстрація, та можливістю зазначених систем із високою точністю відображати зміну режимних параметрів. На сьогодні в ОЕС України розміщено 24 пристрої СМІР типу Регіна-Ч [3] на двох електростанціях та 22-х підстанціях (ПС) напругами 330 – 750 кВ, які утворюють систему моніторингу 75 повітряних ліній (ПЛ) класами напруг 220-750 кВ.

Проведені експериментальні дослідження з використанням синхронізованих вимірів із пристроїв Регіна-Ч підтвердили появу НЧК потужності в перетинах ОЕС України під час виникнення значних збурень у системоутворювальній мережі, серед яких і небезпечні з погляду порушення коливальної стійкості, що потребує досліджень з демпфування зазначених НЧК [4].

Мета роботи полягає в аналізі шляхів зменшення впливу НЧК на режими роботи енергосистем за рахунок здійснення демпфування на станційному та мережевому рівнях; Наукові праці ВНТУ, 2014, № 4

розробці математичної моделі автоматичної системи керування тиристорної установки поздовжньої компенсації (ТУПК) в програмному середовищі PowerFactory; проведенні досліджень режимів роботи енергосистеми з ТУПК та аналізі впливу ТУПК на демпфування низькочастотних коливань потужності.

Методи та засоби зменшення впливу НЧК на режими роботи ОЕС шляхом їхнього демпфування

Проаналізовано шляхи зменшення впливу низькочастотних коливань на режими роботи ЕЕС за допомогою реалізації комплексного підходу демпфування коливань. Комплексний підхід полягає в забезпеченні демпфуванні коливань на станційному та мережевому рівнях ОЕС.

Ефективне налаштування засобів регулювання генераторів, модернізація наявних систем збудження синхронних генераторів та застосування системних стабілізаторів PSS забезпечують станційний рівень демпфувань коливань, а впровадження систем гнучкої передачі змінним струмом (ГПЗС) та вставок постійного струму створюють мережевий рівень демпфування [5].

Одним із пріоритетних засобів підвищення ефективності роботи найбільших енергосистем (ЕС) світу є впровадження у практику їх експлуатації систем ГПЗС. Ці системи дозволяють адаптивно регулювати основні системні параметри передачі змінного струму і в реальному масштабі часу досягати найкращих характеристик передачі потужності [6].

Низка робіт українських фахівців направлена на дослідження ефективності впровадження систем ГПЗС, а саме: статичних тиристорних компенсаторів (СТК) в ОЕС України [7], результати яких наочно відображають переваги застосування цих пристроїв та рекомендації щодо їх установлення. Питання інтеграції ТУПК в ЕЕС ОЕС України також висвітлено в деяких роботах, але досліджень у цьому напрямку значно менше, тому виконаємо аналіз та моделювання роботи ТУПК.

ТУПК являє собою ємнісний компенсатор, до складу якого входить поздовжня батарея конденсаторів, що шунтуються тиристорно керованим реактором з метою плавного регулювання реактивного опору. Для визначення впливу ТУПК на підвищення пропускної здатності ЛЕП та можливості демпфувань коливань перетоків потужності в програмному середовищі PowerFactory виконаємо моделювання процесів на прикладі 14-вузлової тестової схеми IEEE, яка наведена на рис. 1.

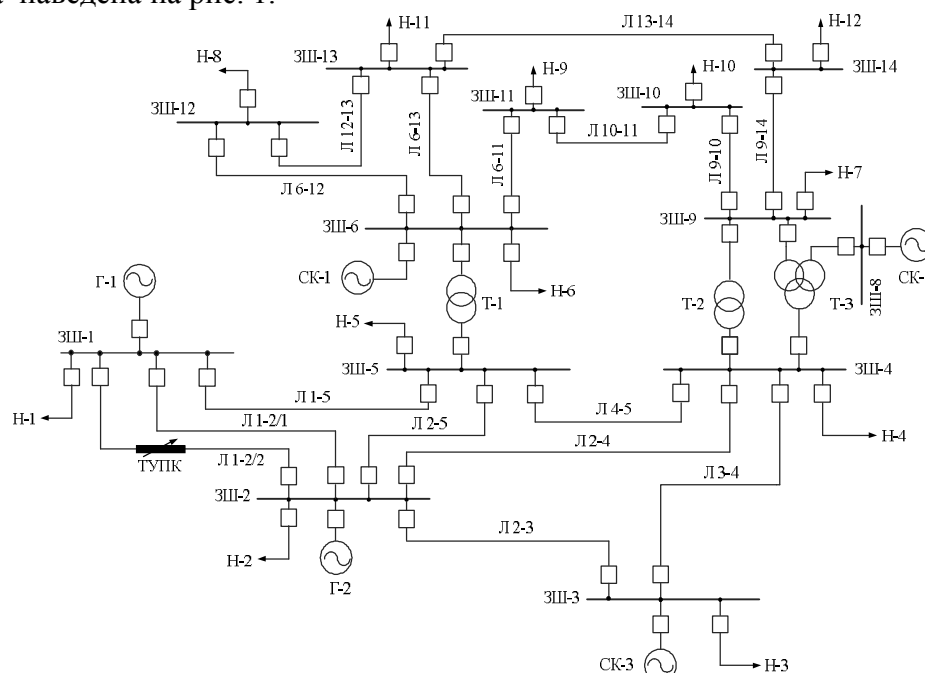


Рис. 1. 14-вузлова тестова схема IEEE зі встановленим ТУПК

Для моделювання розроблено автоматичну систему керування тиристорною установкою поздовжньої компенсації, яка представлена у [8]. У моделі ЕС враховані системи автоматичного керування на різних рівнях управління. Станційний рівень автоматичних систем керування представлений автоматичними регуляторами збудження (АРЗ) генераторів і стабілізаторами ЕС, а мережевий рівень – регуляторами ТУПК.

Оцінка якості функціонування систем ГПЗС поздовжньої компенсації

Збільшення пропускної здатності ЛЕП – 220кВ 1-2/2, реактивний опір якої складає 65,205 Ом, залежить від величини ступеня компенсації k_C встановленого ТУПК. Загальний опір ТУПК складається з постійного опору конденсатора та змінного опору реактора і визначається як:

$$X_{ТУПК} = \frac{X_c \cdot X_l}{X_c + X_l},$$

$$0,3X_{ЛЕП} \leq X_{ТУПК} \leq 0,7X_{ЛЕП}$$

$$20\text{ Ом} \leq X_{ТУПК} \leq 45\text{ Ом}$$

Дослідження ефективності демпфування коливань перетоку активної потужності по ЛЕП 1-2/2 за допомогою ТУПК виконано для випадків виникнення збурень різної величини.

Розроблена модель автоматичної системи керування ТУПК містить контролер демпфування коливань, який у процесі моделювання перехідних процесів ЕЕС був у ввімкненому та вимкненому положеннях. Зміна перетоку активної потужності по ЛЕП 1-2/2 при:

- збільшенні споживання активної потужності на вузловій ЗШ-2 на 100% (рис. 5);
- збільшенні споживання реактивної потужності на вузловій ЗШ-5 на 12 Мвар (рис. 6);
- вимкненні трансформатора Т_1 між вузловими ЗШ-5 та ЗШ-6 (рис. 7);
- виникненні трифазного короткого замикання тривалістю 1 с на ЗШ-5 (рис. 8).

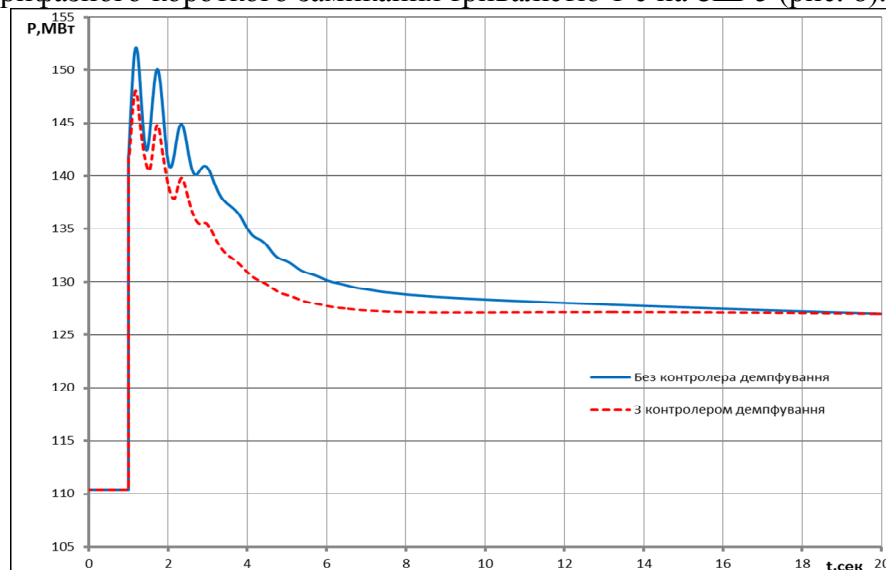


Рис. 2. Зміна активної потужності під час збільшення споживання активної потужності на вузловій ЗШ-2 на 100%

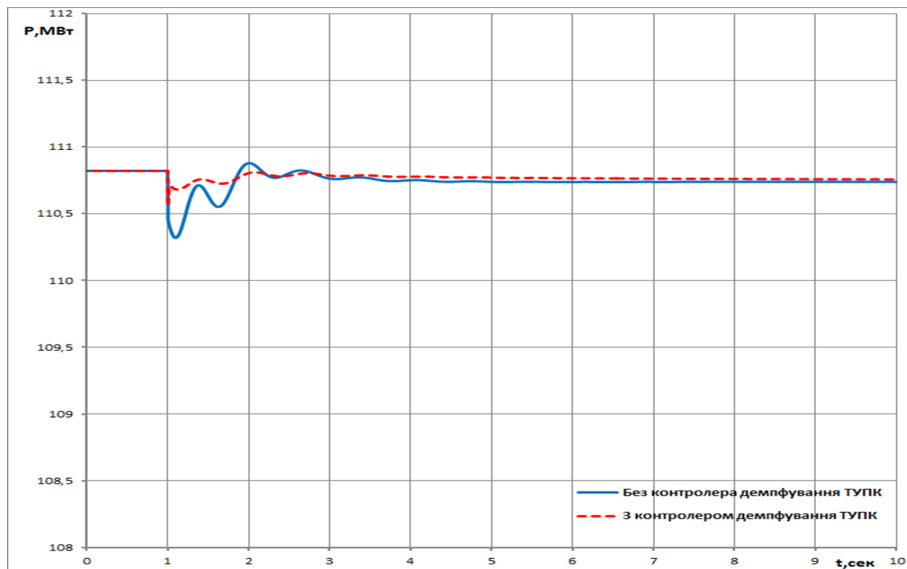


Рис. 3. Зміна активної потужності під час збільшення споживання реактивної потужності на вузловій ЗШ-5 на 12 МВар

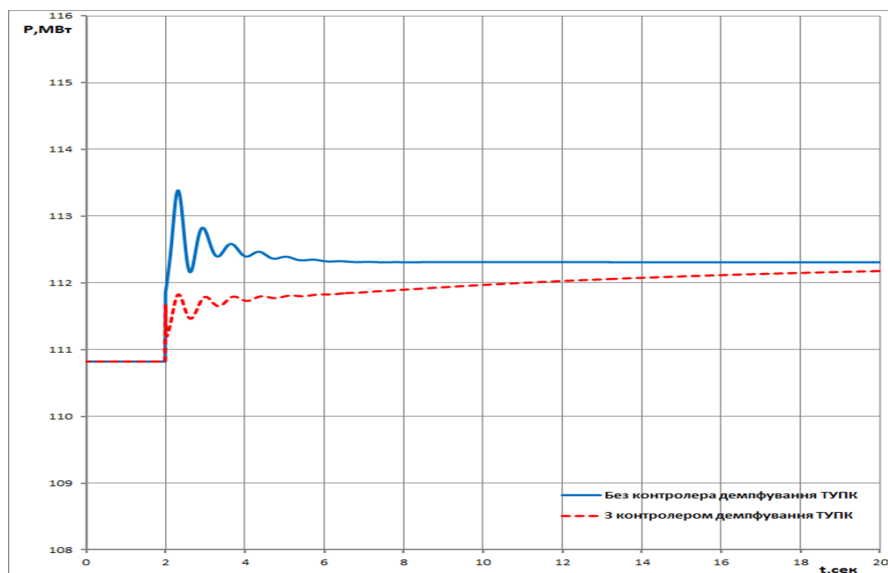


Рис. 4. Зміна активної потужності під час вимкнення трансформатора T_1 між вузловими ЗШ-5 та ЗШ-6

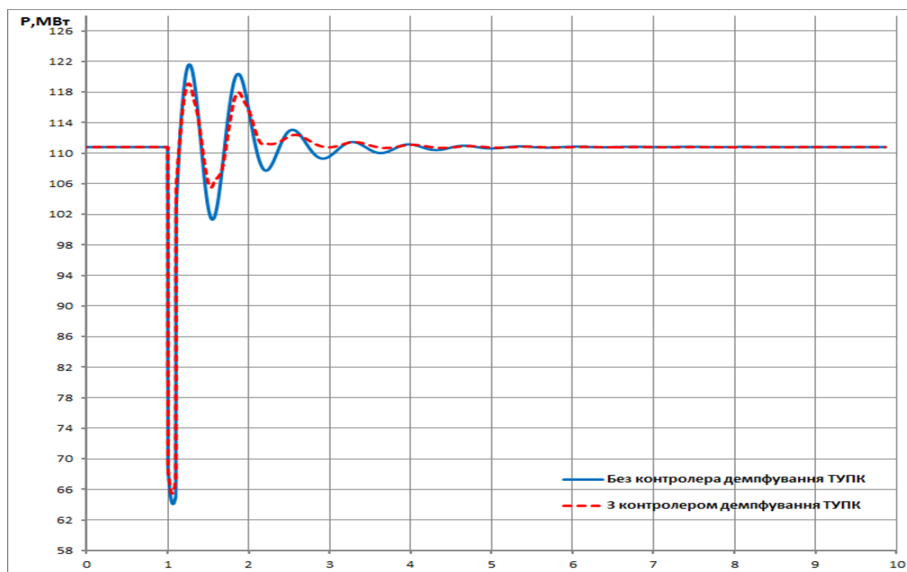


Рис. 5. Зміна активної потужності під час виникнення трифазного короткого замикання тривалістю 0,1 с на ЗШ-5

Як видно з представлених рис. 2 – 5, використання ТУПК із запропонованою моделлю регулятора сприяє зменшенню динамічних відхилень та числа коливань перетоку активної потужності, чим забезпечує демпфування коливань у перехідних режимах. Це особливо актуально в умовах завантажених ЛЕП, коли додаткове збільшення перетоку активної потужності може призвести до порушення паралельної роботи ЕС.

Також були проведені дослідження якості функціонування систем ГПЗС поздовжньої компенсації та оцінка їхнього впливу на частотні характеристики перетоку активної потужності на прикладі Південної ЕС ОЕС України. Дослідження виконували з використанням програми PowerFactory.

Загальний вплив установки ТУПК на ЛЕП-330кВ Аджалик – Усатове наочно зображений на рис. 6, де представлено зміну перетоку активної потужності по представленій ЛЕП під час виникнення збурення на Південноукраїнській АЕС (вимкнення одного з блоків 1000 МВт на 50 с після початку моделювання) для трьох випадків роботи поздовжньої компенсації:

- ТУПК виведений з роботи;
- ТУПК в роботі з увімкненим контролером демпфування;
- ТУПК в роботі з вимкненим контролером демпфування.

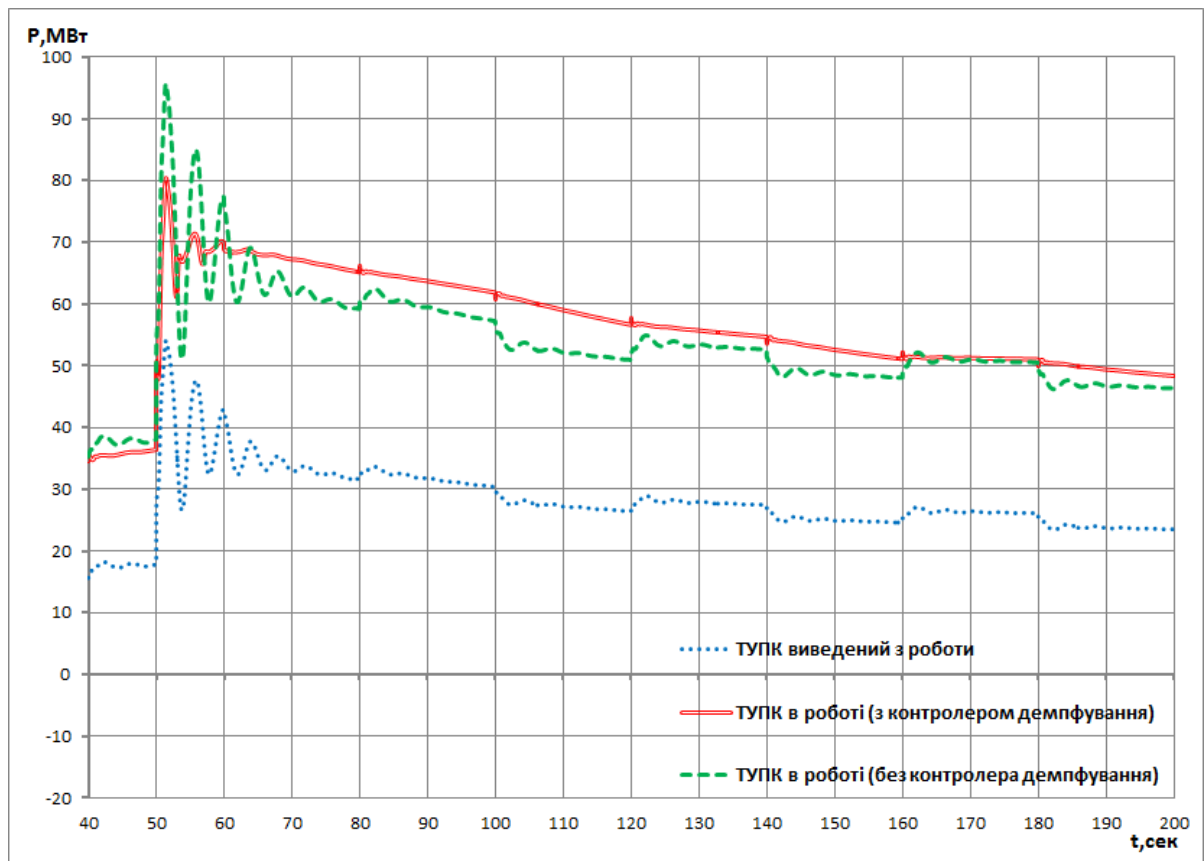


Рис. 6. Зміна активної потужності по ЛЕП-330 кВ Аджалик – Усатове під час вимкнення блоку 1000 МВт на Південноукраїнській АЕС

Аналіз отриманих результатів перетоку активної потужності по ЛЕП-330 кВ Аджалик – Усатове, де встановлено пристрій поздовжньої компенсації, свідчить про збільшення перетоку активної потужності цієї ЛЕП приблизно вдвічі при забезпеченні максимального ступеня компенсації ТУПК. Отже, наочно представлено ефективність застосування ТУПК для збільшення пропускної здатності лінії.

Як видно з рис. 6, час перехідного процесу за використання ТУПК з контролером демпфування зменшується приблизно на 20 с, тобто якісно покращуються динамічні характеристики перехідних процесів ЕЕС з використанням систем ГПЗС.

Аналіз впливу ТУПК на частотні характеристики перетоку активної потужності по ЛЕП, де встановлено пристрій компенсації, проведено відповідно до запропонованого загального алгоритму спектрального аналізу [9] для зазначеного випадку виникнення збурення при введеному в роботу ТУПК з та без контролера демпфування коливань потужності.

Характеристики виявлених домінуючих низькочастотних коливань (НЧК) перетоку активної потужності по ЛЕП-330кВ Аджалик – Усатове під час виникнення збурення на Південноукраїнській АЕС представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Показники домінуючого НЧК активної потужності

	ТУПК без контролера демпфування	ТУПК з контролером демпфування
Частота, Гц	0,293	0,293
Амплітуда, МВт	18,32	14,86
Декремент загасання	1,369	6,405
Логарифмічний декремент загасання	0,314	1,857
Час загасання, с	10,861	1,838
Коефіцієнт загасання	0,092	0,544
Коефіцієнт демпфування	0,05 (5%)	0,295 (29,5%)

У результаті обробки перетоку активної потужності по ЛЕП-330кВ Аджалик – Усатове при введеному в роботу ТУПК без контролера демпфування коливань потужності у випадку виникнення значного збурення розміром вимкнення блоку 1000 МВт на Південноукраїнській АЕС визначено електромеханічні домінуючі низькочастотні коливання з частотами в діапазоні 0,1 – 0,3 Гц, що свідчить про їхню відповідність міжсистемним коливанням в енергосистемі.

Розрахована амплітуда цих коливань є значною та перевищує небезпечне критичне значення, яке складає 10 % від усталеного значення перетоку активної потужності цієї ЛЕП. Розраховані коефіцієнти демпфування та час загасання свідчать про недостатню демпфованість виявлених низькочастотних коливань (коефіцієнт демпфування дорівнює 5 %, час затухання перевищує 10 с).

Використання ТУПК із контролером забезпечує ефективне демпфування низькочастотних коливань перетоку активної потужності по ЛЕП. У цьому випадку спостерігається виникнення в момент аварії домінуючого коливання з частотою 0,293 Гц, яке має міжсистемний характер і є достатньо демпфованим, тобто безпечним з погляду розгойдування режиму системи і порушення коливальної стійкості. При цьому зменшуються динамічні відхилення та число коливань перетоку активної потужності порівняно з попереднім випадком.

Висновки

Отже, гнучке регулювання параметрів режиму, а саме: гнучка зміна в часі реактивного опору, яке здійснюється за допомогою встановленого ТУПК, дозволяє підвищити якість роботи ЕЕС шляхом збільшення пропускної здатності та забезпеченням демпфування коливань потужності по ЛЕП. Ураховуючи особливості ОЕС України, необхідно зазначити, що впровадження систем гнучких передач змінним струмом дозволить розв'язати низку першочергових завдань та дозволить бути у відповідності до вимог європейської системи щодо здійснення ефективного демпфірування коливань потужності.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку пов'язані з:

1. *Забезпеченням комплексного демпфування низькочастотних коливань на станційному та - мережевому рівнях ОЕС:*

- визначення вимог до систем автоматичного регулювання та застосування системних стабілізаторів;

- розробка методики оцінки техніко-економічної ефективності застосування пристроїв

ГПЗС, необхідної для коректного прийняття та обґрунтування рішень щодо місць установлення пристроїв та їхньої характеристик;

2. Удосконаленням та розвитком СМПР в ОЕС України:

- установлення додаткових пристроїв СМПР на основних електростанціях та ПС ОЕС України;

- визначення оптимальних вимог до систем передачі інформації для пристроїв СМПР з метою здійснення моніторингу ОЕС у режимі реального часу;

- моніторинг енергосистем у режимі реального часу (розрахунок характеристик домінуючих коливань у режимі on-line).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Graham Rogers Power System Oscillations / Rogers Graham. – Boston : Kluwer Academic Publishers, 2000. – 328 p.

2. Стогній О. С. Застосування засобів моніторингу перехідних режимів в ОЕС України при розв'язанні задач диспетчерського керування / О. С. Стогній, О. В. Кириленко, О. Ф. Буткевич, М. Ф. Сопель // Технічна електродинаміка. – 2009. – № 7. – С. 27 – 35.

3. Буткевич О. Ф. Першочергові завдання проблемно-орієнтованої системи моніторингу режимів ОЕС України / О. Ф. Буткевич, О. В. Кириленко // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2007. – № 597. – С. 129 – 135.

4. Яндутьський О. С. Аналіз та ідентифікація низькочастотних коливань потужності при виникненні збурень в системоутворюючій мережі ОЕС України / О. С. Яндутьський, В. В. Мацейко // Оптико – електронні інформаційно – енергетичні технології. – 2013. – № 1 (25). – С. 134 – 136.

5. Сорокин Д. В. Централизованная система демпфирования низкочастотных колебаний в энергосистемах на основе применения системы мониторинга переходных режимов [Электронный ресурс] / Д. В. Сорокин // Сборник докладов 4-ой Международной научно-технической конференции «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем», Екатеринбург, издание на CD-диске, CIGRE, 2013. С. 2.2 – 6.

6. Gyugyi Laszlo Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems / Laszlo Gyugyi, Narain G. Hingorani. – Wiley-IEEE Press, 1999. – 452 p.

7. Pavlovsky V. Power Transfer Capability Assessment of Transmission Interfaces with SVC and Load Shedding Systems / V. Pavlovsky, Y. Dolzhenitsa, K. Ushapovskiy // Power and Energy Systems: 9th IASTED Int. Conf., 7-9 Sep., 2009: Proc. – Palma, Spain, 2009. – P. 132 – 136.

8. Яндутьський О. С. Моделювання та аналіз впливу тиристорних установок поздовжньої компенсації на якість роботи електроенергетичних систем / О. С. Яндутьський, В. В. Мацейко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика». – 2013. – № 2 (15). – С. 305 – 309.

9. Яндутьський О. С. Ідентифікація низькочастотних коливань на основі синхронізованих векторних вимірів / О. С. Яндутьський, В. В. Мацейко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2014. – № 5. – С. 32 – 38.

Мацейко Віталія Вікторівна – аспірант, асистент кафедри автоматизації енергосистем факультету електроенергетичної та автоматики, e-mail: fea@kpi.ua, Vitaliya_M@i.ua.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».

V. V. Matseiko

DAMPING OF LOW-FREQUENCY POWER OSCILLATIONS OF IN ENERGY SYSTEM

Problems dealing with the study of low-frequency power oscillations in Unified Power System (UPS) of Ukraine in conditions of modern systems of transient modes monitoring (STMM) introduction are considered. Methods and means for decreasing low frequency oscillations impact of operation modes of UPS by means of their damping are analyzed. Simulation of energy systems operation modes with thyristor installation of longitudinal compensation (TILC) and analysis of TILC impact on damping of low frequency power oscillation is performed.

Key words: *low frequency oscillations, transient modes monitoring, damping, systems of flexible transfer of alternating current, thyristor installation of longitudinal compensation.*

Introduction

Introduction of new generating powers, increase of electric power systems (EPS) loading, carrying out of organization and technical measures, aimed at modernization, economic and technological development provide new properties to Unified Power Systems, including properties, connected with the possibility of disturbance their stability as a result of low frequency system-wide oscillations of modes parameters, that can stipulate considerable social-economic losses. Presence of low-frequency oscillations (LFO) may lead to stability disturbance and reduce considerably admissible power transfers in the system [1]. In this connection, studies of the methods and means aimed at decreasing LFO impact on EPS operation modes are one of the problems of supervisory control.

The given problem is urgent, especially for Unified energy system of Ukraine that is characterized by the presence of powerful EPS, interconnected by rather weak intersystem communications. Besides, involvement of energy units of thermal power stations (TPS) and additional hydroelectric units (HEU) of hydroelectric stations (HES) in automatic secondary regulation of frequency and power, and energy units of TPC – in primary regulation in order to increase the efficiency of UES of Ukraine operation, will create high probability of emergence of dangerous LFO of power if regulators are not properly set. Also, realization of efficient damping of power oscillations is one of obligatory requirements of ENTSO-E Association, aimed at realization of parallel operation of UES of Ukraine with energy union of European countries.

Special attention was paid to this problem as a result of usage of transient modes monitoring systems (TM MS), that created new possibilities of revealing LFO both in off-line and on-line modes [2]. This is connected, first of all, with the period of data digitization with which synchronous registration is performed and the possibility of the given systems to display with high accuracy mode parameters change. Nowadays, 24 TMMS units of Regina-Ч type [3] are located in UES of Ukraine at 2 power stations and 22 substations of 330 – 750 kV, forming the system of monitoring of 75 over-head transmission lines of 220 – 750 kV.

The research, carried out, using synchronized measurements from Regina-Ч devices confirmed the emergence of LFO power in sections of UES of Ukraine in case of considerable disturbances in system-forming grids, including dangerous ones from the point of view of oscillation stability violation. This, in its turn, requires studies of the given LFO damping [4].

The aim of the paper is to analyze the ways of reducing LFO impact of operation modes of energy system at the expense of damping on stationary and grid levels, develop mathematical model of automatic control system of thyristor installation of longitudinal compensation (TILC) in programming environment Power Factory; carry out the study of operation modes of energy system with TILC and analysis of TILC impact on the damping of power low frequency oscillation.

Methods and means of the reduction of LFO impact on VES operation modes by means of their damping

Ways of decreasing the impact of low frequency oscillations on EPS operation modes by means of realization of complex approach of oscillation damping have been analyzed. Complex approach consists in providing oscillation damping on stationary and grid levels of UES.

Efficient adjustment of generators regulation facilities, modernization of existing systems of synchronous generators excitation systems and application of system stabilizers PSS provide stationary level of oscillation damping and introduction of flexible alternating current transmission systems (FACTS) and direct current insertions create grid level of damping [5].

One of priority ways of efficiency increase of large world energy systems operation is introduction in the practice of their operation FACST systems. The given systems enable to regulate adaptively main system parameters of alternative current transmission and achieve in the real time better characteristics of power transmission [6].

A number of studies, performed by Ukrainian specialists is aimed at investigation of the efficiency of FACTS systems introduction, namely static thyristor compensators (STC) in UES of Ukraine [7], the results of investigations show the advantages of these devices application and contain recommendations, regarding their installation. Problems of TILC integration in EPS of UES of Ukraine are also presented in some papers but there is far less research in this direction. That is why, we will perform the analysis and modeling of TILC operation.

TILC is a capacitive compensator, that contains longitudinal capacitors bank, which are shunted by thyristor controlled reactor for smooth regulation of reactive impedance. For determination of TILC impact on the increase of carrying capacity of the over-head transmission lines and possibility to damp the oscillations of power transfers in programming environment Power Factory we will perform process modeling on the example of 14-node test circuit IEEE, shown in Fig. 1.

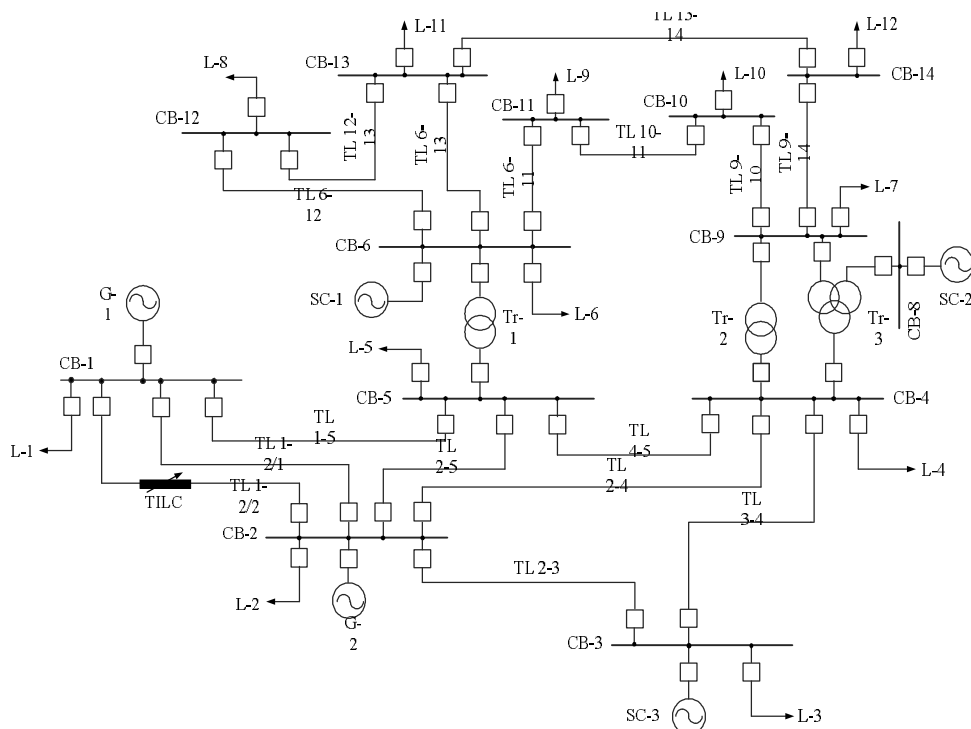


Fig. 1. 14-node IEEE test circuit with the installed TILC

Automatic control system of thyristor installation of longitudinal compensation, presented in [8], has been developed for modeling. The model takes into account automatic control systems at various levels of control. Stationary level of automatic control systems is resented by automatic excitation controllers (AEC) of generators and EPS stabilizers, grid level is presented by TILC

regulators.

FACTS systems with longitudinal compensation functioning quality estimation

Increase of carrying capacity of over-head transmission lines 220 kV 1-2 / 2, reactive impedance of which is 65.205 Ohm, depends on the value of compensation degree k_C , set by TILC. Total resistance of TILC consists of fixed resistance of capacitor and variable resistance of the reactor and is defined as:

$$X_{TILC} = \frac{X_r \cdot X_l}{X_r + X_l},$$

$$0.3X_{TL} \leq X_{TILC} \leq 0.7X_{TL}$$

$$20 \text{ Ohm} \leq X_{TILC} \leq 45 \text{ Ohm}$$

Study of the damping efficiency of active power transfer oscillations in transmission lines 1-2 / 2 by means of TILC has been realized for the cases of emergence of the disturbances of different values.

The developed model of TILC automatic control system comprises the controller for oscillations damping, which in the course of EPS transient processes modeling was in “on” and “off” positions. Change of active power transfer in transmission line 1-2 / 2 at:

- increase of active power consumption at nodal CB-2 at 100% is presented in Fig. 2;
- increase of reactive power consumption at nodal CB-5 at 12 MVar is presented in Fig. 3;
- disconnection of the transformer T_1 between nodal CB-5 and CB-6 is presented in Fig. 4;
- emergence of three-phase short-circuit, duration 1 sec at CB-5 is presented in Fig. 5.

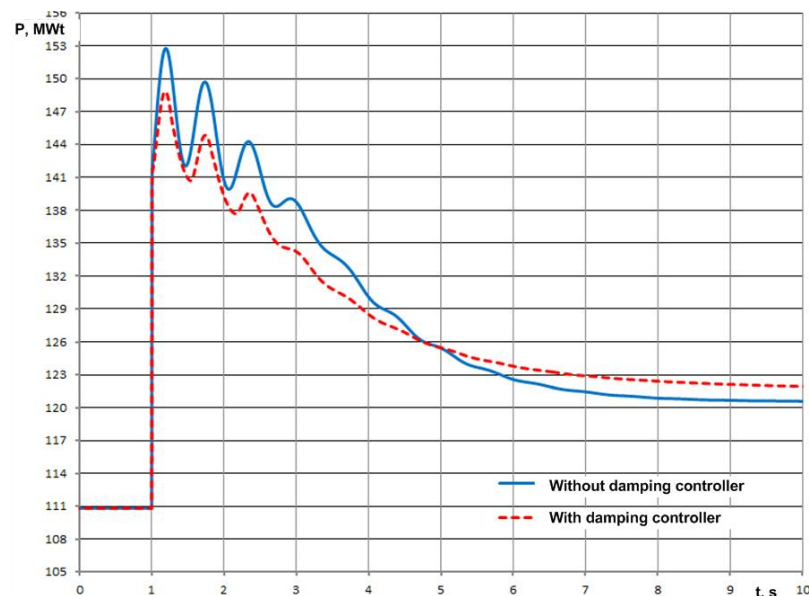


Fig. 2. Active power change in case of active power consumption increase at nodal CB-2 by 100%

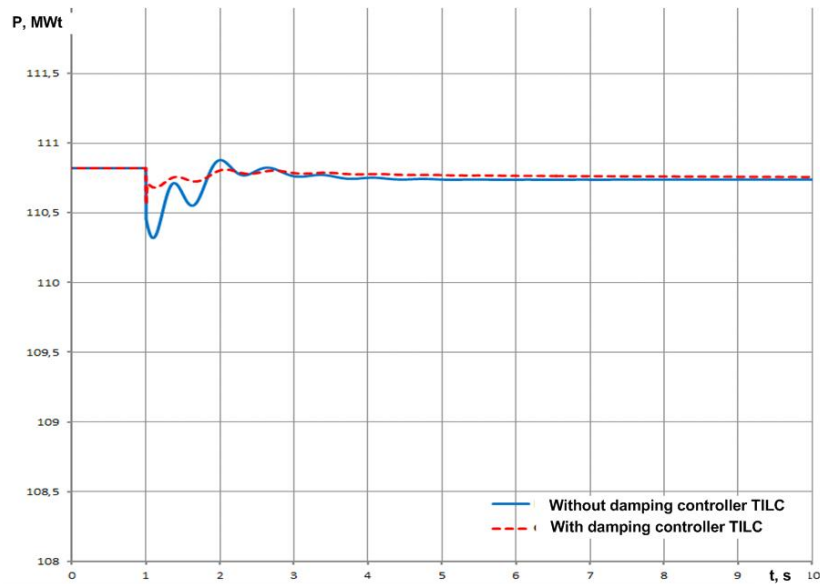


Fig. 3. Active power change in case of reactive power consumption increase at nodal CB-5 by 12 MVar

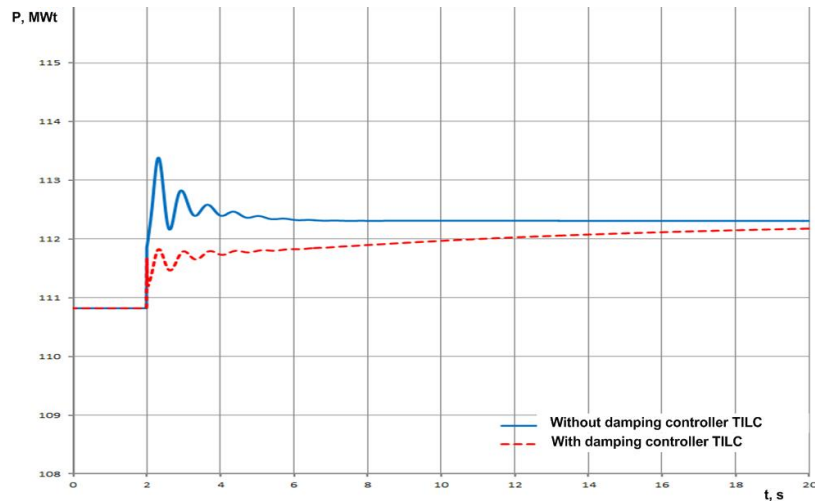


Fig. 4. Active power change in case disconnected transformer T₁ between nodal CB-5 and CB-6

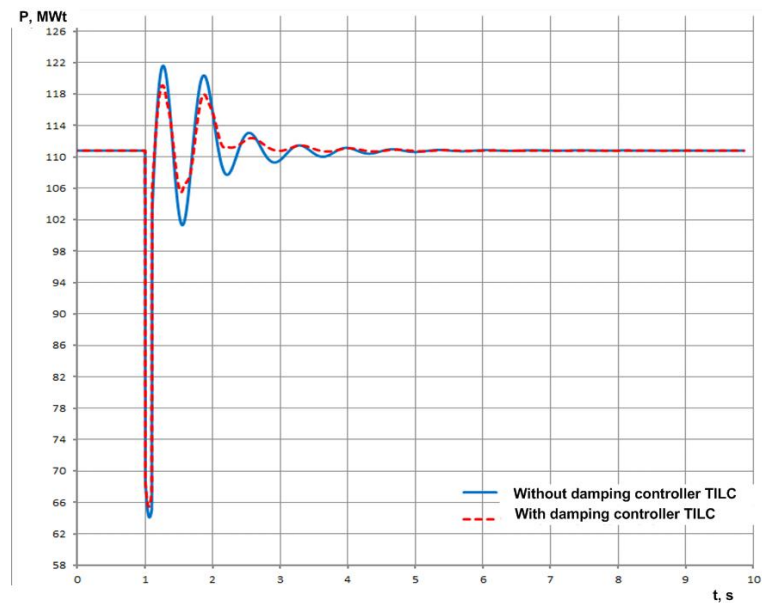


Fig. 5. Active power change in case of three-phase short-circuit of 0.1 sec duration at CB-5

As it is seen from Fig. 2 – 5, usage of TILC with the suggested model of regulator helps to

decrease dynamic deviations and the amount of active power transfer oscillations and provides oscillations damping in transient models. It is especially actual in conditions of loaded transmission lines, when additional increase of active power transfer may lead to violation of ES parallel operation.

Studies of functioning quality of FACTS systems of longitudinal compensation and estimation of their impact of frequency characteristics of active power transfer on the example of South ES of UES of Ukraine were performed. The studies were carried out, using Power Factory program.

General impact of TILC installation on over-head transmission line 330 kV Adzhalyk- Usatove is shown in Fig. 6, where the change of active power transfer in the transmission line the Kisturbance occurs at South-Ukrainian nuclear power plant (disconnection of one of 1000 MWt blocs for 50 sec after the start of simulation) for three cases of longitudinal compensation:

- TILC is put out of operation;
- TILC is in operation with switched on damping controller;
- TILC is in operation with switched of damping controller.

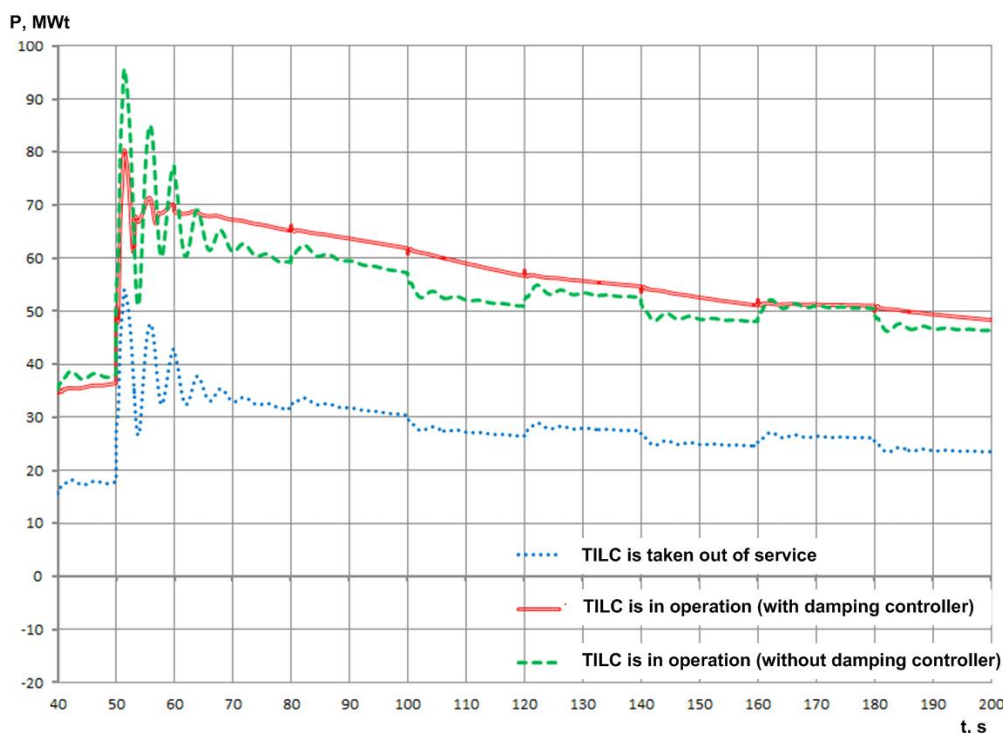


Fig. 6. Active power change in over-head transmission line 330 kV Adzhalyk-Usatove in case of disconnecting of 1000 MWt block at South-Ukrainian nuclear power station

The analysis of the results obtained, regarding active power transfer in transmission line 330 kV Adzhalyk-Usatove, where the device of longitudinal compensation is installed, shows two times increase of active power transfer in the given transmission line, if maximum level of TILC compensation is provided. Thus, the efficiency of TILC application for the increase of the transmission line carrying capacity is shown.

As it is seen from Fig. 6, the time of transient process, using TILC with damping controller, decreases approximately by 20 sec, that is, dynamic characteristics of transient processes in EPS improve, using FACTS systems. Analysis of TILC impact on frequency characteristics of active power transfer in over-head transmission line, where compensation device is installed, is carried out in accordance with the suggested general algorithm of spectrum analysis [9] for the given case of disturbance emergence, if TILC is put into operation with and without damping controller of power oscillations.

Characteristics of the revealed dominating low frequency oscillations (LFO) of active power transfer in transmission line 330 kV Adzhalyk-Usatove in case of disturbances emergence at South-

Ukrainian nuclear power plant are shown in Table 1.

Table 1

Indices of dominating LFO of active power

	TILC without damping controller	TILC with damping controller
Frequency, Hz	0.293	0.293
Amplitude, MWt	18.32	14.86
Damping decrement	1.369	6.405
Logarithmic decrement of attenuation	0.314	1.857
Damping times, s	10.861	1.838
Attenuation constant	0.092	0.544
Damping factor	0.05 (5%)	0.295 (29.5%)

As a result of processing of active power transfer in transmission line 330 kV Adzhalyk-Usatove if TILC without controller of power oscillations damping is in operation in case of emerging of considerable disturbances in the form of 1000 MW unit disconnection at South-Ukraine NPP electromechanical dominating low frequency oscillations with frequencies in the range of 0.1 – 0.3 Hz are determined, that confirms their correspondence with intersystem oscillations in energy system.

Calculated amplitude of these oscillations is rather large and exceeds dangerous critical value, that is 10% of steady-state value of active power transfer of the given transmission line. Calculated coefficients of damping and attenuation time affirm insufficient damping of the revealed low frequency oscillations (damping factor equals 5%, attenuation time exceeds 10 sec).

Usage of TILC with the controller provides efficient damping of low frequency oscillations of active power transfer in transmission line. In the given case emerging of dominating oscillation with the frequency of 0.293 Hz at the moment of failure is observed, this oscillation is of intersystem character and is rather damped, that is, safe, from the point of view of system mode oscillation and violation of oscillating stability. Dynamic deviations and amount of oscillations of active power transfer decrease as compared with previous case.

Conclusions

Flexible regulation of mode parameters, namely, flexible change in time of reactive resistance which is performed by means of the installed TILC enables to increase the quality of EPS operation, increasing carrying capacity and providing power oscillation damping in transmission line. Taking into account characteristic features of UES of Ukraine, it should be noted that introduction of the systems of flexible transfers by alternating current enables to solve a number of urgent problems and will give an opportunity to be in compliance with the requirements of European system regarding the realization of efficient damping of power oscillations.

Prospects of further research in this direction are connected with:

- providing complex damping of low frequency oscillations at stationary and grid levels of UES;
- determination of requirements to the systems of automatic control and usage of system stabilizers;
- development of the technique, intended for evaluation of technical and economic efficiency of FTAC devices application, the technique is necessary for correct and substantiated decision-making regarding the place of devices installation and their characteristics;
- improvement and development of STMM in UES of Ukraine;
- installation of additional STMM devices at main electric power stations and substations of UES of Ukraine;
- determination of optimal requirements, concerning the systems of information transfer for STMM devices in order to perform UES monitoring in real time mode;
- energy systems monitoring in real time mode (calculation of dominating oscillations characteristics in on-line mode).

REFERENCES

1. Graham Rogers Power System Oscillations / Rogers Graham. – Boston : Kluwer Academic Publishers, 2000. – 328 p.
2. Стогній О. С. Застосування засобів моніторингу перехідних режимів в ОЕС України при розв'язанні задач диспетчерського керування / О. С. Стогній, О. В. Кириленко, О. Ф. Буткевич, М. Ф. Сопель // Технічна електродинаміка. – 2009. – № 7. – С. 27 – 35.
3. Буткевич О. Ф. Першочергові завдання проблемно-орієнтованої системи моніторингу режимів ОЕС України / О. Ф. Буткевич, О. В. Кириленко // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2007. – № 597. – С. 129 – 135.
4. Яндутьський О. С. Аналіз та ідентифікація низькочастотних коливань потужності при виникненні збурень в системоутворюючій мережі ОЕС України / О. С. Яндутьський, В. В. Мацейко // Оптико – електронні інформаційно – енергетичні технології. – 2013. – № 1 (25). – С. 134 – 136.
5. Сорокин Д. В. Централизованная система демпфирования низкочастотных колебаний в энергосистемах на основе применения системы мониторинга переходных режимов [Электронный ресурс] / Д. В. Сорокин // Сборник докладов 4-ой Международной научно-технической конференции «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем», Екатеринбург, издание на CD-диске, CIGRE, 2013. С. 2.2 – 6.
6. Gyugyi Laszlo Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems / Laszlo Gyugyi, Narain G. Hingorani. – Wiley-IEEE Press, 1999. – 452 p.
7. Pavlovsky V. Power Transfer Capability Assessment of Transmission Interfaces with SVC and Load Shedding Systems / V. Pavlovsky, Y. Dolzhenitsa, K. Ushapovskiy // Power and Energy Systems: 9th IASTED Int. Conf., 7-9 Sep., 2009: Proc. – Palma, Spain, 2009. – P. 132 – 136.
8. Яндутьський О. С. Моделювання та аналіз впливу тиристорних установок поздовжньої компенсації на якість роботи електроенергетичних систем / О. С. Яндутьський, В. В. Мацейко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика». – 2013. – № 2 (15). – С. 305 – 309.
9. Яндутьський О. С. Ідентифікація низькочастотних коливань на основі синхронізованих векторних вимірів / О. С. Яндутьський, В. В. Мацейко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2014. – № 5. – С. 32 – 38.

Matseiko Vitalia – Post Graduate, Assistant with the Chair of Energy Systems Automation, Department of Electric Engineering and Automation, e-mail: fea@kpi.ua, Vitaliya_M@i.ua.

National Technical University of Ukraine «Kiyv Polytechnical Institute».