

УДК 621.311

О.С. ЯНДУЛЬСЬКИЙ (д-р техн. наук, проф.), **В.В. МАЦЕЙКО**
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
kafedra_ae@mail.ru

МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТИРИСТОРНИХ УСТАНОВОК ПОЗДОВЖНЬОЇ КОМПЕНСАЦІЇ НА ЯКІСТЬ РОБОТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Розглянута необхідність інтеграції систем гнучкої передачі змінним струмом в ОЕС України. Проаналізовано світовий досвід впровадження гнучких передач змінним струмом та їхні функціональні можливості. Розроблена автоматична система керування тиристорною установкою поздовжньої компенсації та проведений аналіз впливу тиристорних установок поздовжньої компенсації на підвищення пропускної здатності ліній електропередач.

Ключові слова: *гнучкі системи передачі змінним струмом, статичний тиристорний компенсатор, тиристорна установка поздовжньої компенсації, система керування, моделювання.*

Сучасна електроенергетика найбільш розвинених країн світу швидкими темпами рухається в напрямку інтенсивного технологічного розвитку та застосування альтернативних джерел енергії. Системи інтелектуальних мереж, гнучкі передачі змінним струмом, системи моніторингу перехідних режимів вже стали невід'ємною частиною та запорукою ефективної роботи багатьох енергосистем (ЕС) світу. В цей час, зміни в енергетиці України є не настільки кардинальними, тому цілий ряд проблем досі стоїть в черзі на першочергове вирішення [1]:

- незбалансованість структури генеруючих потужностей, нестача ресурсів для ефективного регулювання потужності та частоти;
- спрацьованість і технічна застарілість обладнання;
- неефективне використання пропускної здатності електричної мережі;
- недостатні обсяги засобів регулювання напруги та компенсації реактивної потужності;
- недостатній рівень оснащення засобами телемеханіки, релейного захисту та автоматики, моніторингу та діагностики.

В таких умовах можливість реалізації паралельної роботи об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України з об'єднанням європейських країн потребує впровадження новітніх технічних засобів підвищення ефективності управління, що допоможе забезпечити відповідність ЕС нашої держави вимогам асоціації ENTSO_E.

Одним з пріоритетів технологічного розвитку найбільших ЕС світу є впровадження у практику їх експлуатації систем гнучкої передачі змінним струмом (ГПЗС). Дані системи дозволяють адаптивно регулювати основні параметри передачі змінного струму, чим домагаються найкращих характеристик передачі потужності в темпі "реального процесу" та, відповідно, підвищують керованість і надійність систем.

Дослідження систем ГПЗС було розпочато ще в 90-х роках минулого століття в США зі створення першого покоління пристроїв компенсації, які базувалися на принципах поздовжньої та поперечної компенсації реактивних параметрів передачі з застосуванням швидкодіючих тиристорних ключів.

За період, що пройшов з того часу, дослідження та розробки стали широкомасштабними, розвиток електронної техніки дозволив створити сучасні швидкодіючі пристрої трьох класів: системи поздовжньої компенсації, системи поперечної компенсації і комплексні системи, що поєднують в одному пристрої поздовжню і поперечну компенсацію, які активно використовуються в ЕС різних країн (ЕС Швеції, Бразилії, Латинської Америки, Індії, Китаю, Канади та ін.)[2].

Лідерами на світовому ринку приладів ГПЗС являються компанії Siemens, ABB, Areva, GeneralElectric, серед яких компанія ABB займає провідне місце у розгортанні статичних тиристорних компенсаторів (СТК) та постачає 55% від загальної кількості, з яких 13% - встановлені в азіатських країнах. До того ж, потрібно зазначити, що СТК є найбільш поширеним по встановленню пристроєм класу паралельної компенсації та систем ГПЗС в цілому. Серед класу поздовжньої компенсації однією з найбільш поширених є тиристорна установка поздовжньої компенсації (ТУПК), яка вперше була розроблена та введена в експлуатацію компанією ABB в 1992 році. В загальному даною компанією встановлено більш ніж 380 СТК та 250 ТУПК.

Закордонний досвід використання систем ГПЗС показав можливість надання ЕС властивостей гнучкості та вирішення наступних задач[3]:

- збільшення ефективності використання існуючих ліній електропередач (ЛЕП) та, відповідно, відмова від коштовного мережевого будівництва (нових ЛЕП);
- підвищення надійності електропостачання споживачів;

- демпфірування коливань у системах;
- стабілізація напруги у вузлах ЕС.

Збільшення пропускної здатності існуючих ЛЕП за рахунок використання систем ГПЗС, в свою чергу, дозволяє:

- підвищити статичну та динамічну стійкість ЕС;
- оптимізувати навантаження паралельними лініями зв'язку;
- зменшити втрати активної потужності за рахунок зміни поточкорозподілу паралельних ділянок мережі.

Цілий ряд робіт українських фахівців направлений на дослідження ефективності впровадження систем ГПЗС, а саме СТК, в ОЕС України [4], результати яких наочно відображають переваги застосування даних пристроїв та рекомендації щодо їх встановлення. Питання інтеграції ТУПК в ЕС ОЕС України також висвітлено в деяких роботах, але досліджень в даному напрямку значно менше, тому наступні аналіз та моделювання присвячені саме ТУПК.

ТУПК являє собою ємнісний компенсатор, який включає поздовжню батарею конденсаторів, що шунтуються тиристорно – керованим реактором з метою плавного регулювання реактивного опору. Для визначення впливу ТУПК на підвищення пропускної здатності ЛЕП та можливості демпфування коливань перетоків потужності в програмному середовищі PowerFactory фірми DigSilent виконано моделювання роботи даного пристрою на прикладі тестової схеми ЕС Інституту інженерів з електротехніки та електроніки. Тестова схема ЕС Інституту інженерів з електротехніки та електроніки зі встановленим ТУПК наведена на рис. 1.

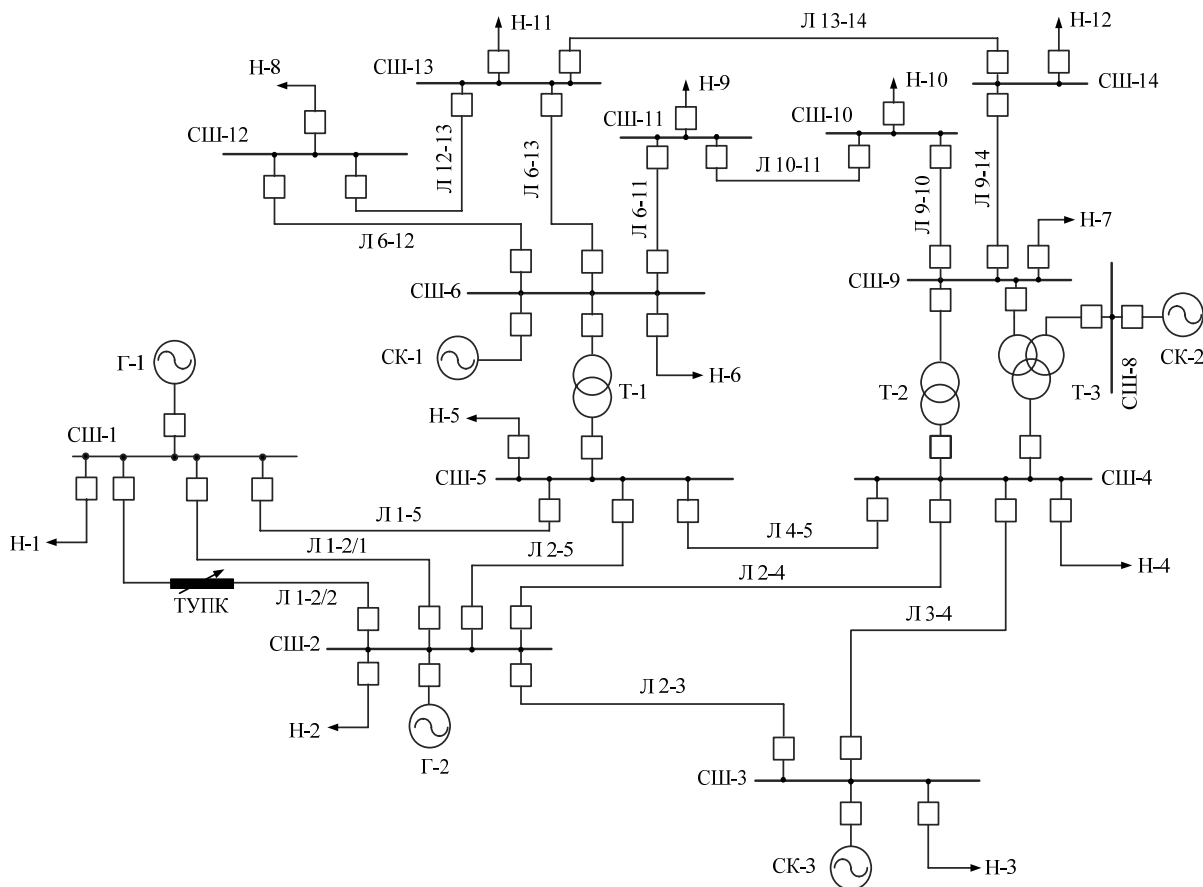


Рисунок 1 – Тестова схема Інституту інженерів з електротехніки та електроніки зі встановленим ТУПК

Була розроблена автоматична система керування тиристорною установкою поздовжньої компенсації у відповідності з [5]. Типовий модуль ТУПК складається з двох основних операційних блоків зовнішнього а внутрішнього контролів. Функція зовнішнього контролю полягає в управлінні контролером для досягнення необхідного рівня компенсації, який безпосередньо опирається на виміряні параметри системи. Функція внутрішнього контролю полягає в забезпеченні необхідного рівня відкриття тиристорного клапану для забезпечення бажаної компенсації реактивного опору. Загальна блок – схема моделі ТУПК та структура зовнішнього управління представлені на рис. 2, а передаточна функція контуру управління стійкістю на рис.3.

Контур управління стійкістю включає в себе блок підсилення, іздромний фільтр, динамічний компенсатор та обмежувач. Іздромний фільтр необхідний для того, щоб уникнути реакції контролера на зсув постійної складової вхідного сигналу. Динамічний компенсатор складається з двох (або більше) аперіодичних ланок, які в залежності від відношення відповідних постійних часу вносять випередження або запізнення в сигнал.

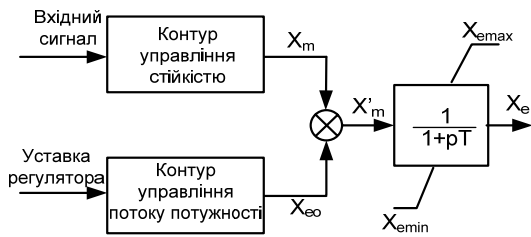


Рисунок 2— Блок-схема моделі ТУПК для аналізу стійкості

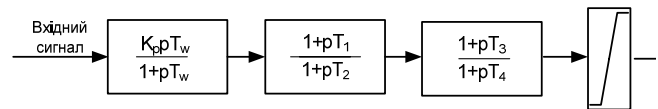


Рисунок 3— Передаточна функція контуру управління стійкістю

Обмежувач використовується для покращення роботи контролера при великих відхиленнях вхідного сигналу. В загальному передаточна функція даного контуру має вигляд:

$$H(p) = K_p \cdot \frac{pT_w}{1 + pT_w} \cdot \frac{1 + pT_1}{1 + pT_2} \cdot \frac{1 + pT_3}{1 + pT_4} = K_p \cdot H_1(p),$$

де K_p — позитивний коефіцієнт підсилення; $H_1(p)$ — передаточна функція блоку стабілізації; T_w — постійна часу форсування; T_1, T_3 та T_2, T_4 — постійні часу випередження та запізнення відповідно.

Згідно з[5] вхідним сигналом контуру управління стійкістю теоретично можуть бути активна потужність лінії, реактивна потужність лінії, величина струму лінії та величини напруг на шинах, але світовий досвід побудови систем управління ТУПК показав, що саме активна потужність та струм є найбільш придатними для цієї ролі. Тому для системи керування ТУПК в програмному середовищі PowerFactory для початкових дослідів в якості вхідного сигналу була обрана активна потужність. В перспективі повинне біти дослідження використання в якості вхідного сигналу контуру управління стійкістю величини струму лінії та порівняння даного варіанту роботи моделі ТУПК з представленим.

Аналіз режиму тестової ЕС виконаний для випадку збільшення споживання активної потужності на вузловій СШ-2 на 100% при вимкненій та ввімкненій тиристорній установці поздовжньої компенсації в ЛЕП 1-2/2. Результати досліджень наведені на рис.4 для перетоку активної потужності по ЛЕП 1-2/2.

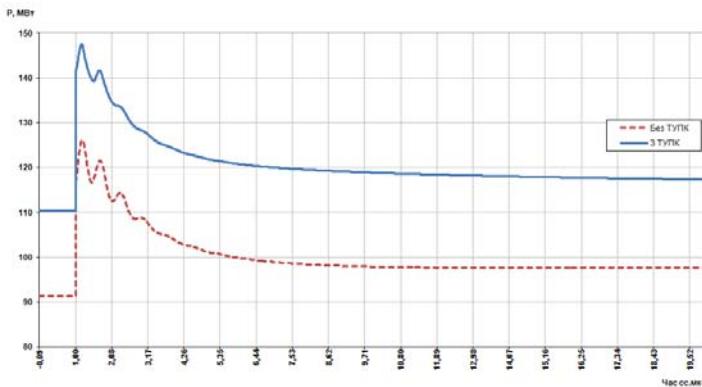


Рисунок 4—Зміна перетоку активної потужності по ЛЕП 1-2/2 при збільшенні споживання активної потужності на СШ-2 на 100%

Таким чином, гнучке регулювання параметрів режиму, а саме гнучка зміна у часі реактивного пору, яке здійснюється за допомогою встановленого ТУПК дозволяє підвищити якість роботи представленої ЕС шляхом збільшення пропускної здатності та забезпеченням демпфірування коливань потужності по ЛЕП. Враховуючи особливості та вже зазначені проблеми ОЕС України, необхідно відмітити, що впровадження систем гнучких передач змінним струмом дозволить вирішити ряд першочергових задач та дасть змогу бути у відповідності з вимогами європейської системи щодо здійснення ефективного демпфірування коливань потужності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кириленко О.В. Проблеми з забезпечення надійної роботи ОЕС України в умовах реформування енергетики//Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – 2009. – Ч.1. – С.135-141
2. Grunbaum R., Jones P., Richardson B. FACTS for enhancing the reliability of power transmissions grids. // ABB Power Technologies AB, Sweden, 2005. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.abb.com>.

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

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

5. J. Paserba, N. Miller, E. Larsen, and R. Piwko, “A Thyristor Controlled Series Compensation Model for Power System Stability Analysis,” IEEE Trans. Power Systems, Vol. 10, No. 4, November 1995, pp. 1471-1478.

REFERENCES

1. Kyrylenko O. The problems of maintaining the reliability of the UPS of Ukraine in the Energy Sector // Bulletin KSPU Mykhailo Ostrohradskiy. – 2009. – P.1. – Pp.135-141. (Ukr)

2. Grunbaum R., Jones P., Richardson B. FACTS for enhancing the reliability of power transmission grids // ABB Power Technologies AB, Sweden, 2005. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.abb.com>.

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

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

5. J. Paserba, N. Miller, E. Larsen, and R. Piwko, A Thyristor Controlled Series Compensation Model for Power System Stability Analysis. *IEEE Trans. Power Systems*, Vol. 10, No. 4, November 1995, pp. 1471-1478.

Надійшла до редакції 17.04.2013

Рецензент: В.Ф. Сивокобиленко

А.С. ЯНДУЛЬСКИЙ, В.В. МАЦЕЙКО

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Моделирование и анализ влияния тиристорных установок продольной компенсации на качество работы электроэнергетических систем. Рассмотрена необходимость интеграции систем гибкой передачи переменного тока в ОЭС Украины. Проанализирован мировой опыт внедрения ГПЗС и их функциональные возможности. Разработана автоматическая система управления тиристорной установкой продольной компенсации и проведен анализ влияния ТУПК на повышение пропускной способности линий электропередач.

Ключевые слова: гибкие системы передачи переменного тока, статический тиристорный компенсатор, тиристорная установка продольной компенсации, система управления.

O.YANDULSKYY, V. MATSEYKO

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

Modeling and Analysis of the Impact of a Thyristor Controlled Series Capacitor at Power System Quality.

Flexible AC transmission systems (FACTS) controllers have been mainly used for solving various power system steady state control problems. The world's literature shows an increasing interest in this subject for the last two decades, where the enhancement of system stability using FACTS controllers has been extensively investigated. Some of the utility experience, real-world installations, and semiconductor technology development have been reviewed and summarized. TCSC devices are used to improve real power and eliminate line losses in ac systems. An additional task of TCSC is to increase transmission capacity as result of power oscillation damping. The control scheme of a typical TCSC is described. A typical TCSC module consists of a fixed series capacitor in parallel with a thyristor controlled reactor. In a TCSC, two main operational blocks can be clearly identified, i.e. an external control and an internal control. The function of the external control is to operate the controller to accomplish specified compensation objectives; this control directly relies on measured systems variables to define the reference for the internal control, which is usually the value of the controller reactance. The function of the internal control is to provide appropriate gate drive signals for the thyristor valve to produce the desired compensating reactance. Line active power, line reactive power, line current magnitude and bus voltage magnitudes are all candidates to be considered in the selection of input signals for the TCSC stability control loop. Of these possible input signals, active power and current are the most commonly discussed in the literature. That's why active power is used as an input signal of a controller. The results of applying the proposed TCSC controller design for optimal power flow and increase the system damping for low frequency oscillations are analyzed.

Key words: flexible alternative current transmission systems, static var compensator, thyristor controlled series capacitor, control system.