

## CSC ЯК ЗАСІБ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

**Кравченко Д.В., студент**

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем*

**Вступ.** В сучасній роботі енергосистем існує потреба в динамічному регулюванні параметрів мереж високих класів напруг (110 кВ та більше), компенсації реактивної потужності, що є чинником погіршення показників роботи енергосистеми.

Так, наприклад, реактивні струми прямо впливають на збільшення втрат генераторів електростанцій, споживачів енергії таких як двигуни та ін.. В лініях електропередач збільшуються втрати через значне переважання якоїсь складової  $\sin(\varphi)$  (індуктивної чи реактивної) [1].

Зменшення коефіцієнту потужності  $\cos(\varphi)$  – викликає зменшення активної корисної потужності, що передається і, відповідно, збільшується спад напруги, що в свою чергу б'є по коштам енергокомпаній та запасам ресурсів.

Із зазначених причин має місце висновок, що реактивна потужність є важливим параметром, що потрібно регулювати. Для цього існує багато засобів, серед них є статичні компенсатори, УПК, УППК, засоби FACTS [1].

Кожен з цих засобів має як переваги та недоліки, та кожен із пристроїв компенсації потребує виділення місця для встановлення. До того ж кількість функцій впливу у кожного пристрою є обмеженою. Тому, зважаючи на динамічність змін параметрів мереж, варто застосовувати засіб, який мав би властивості кожного з окремих пристроїв компенсації.

З цією метою на підстанції Marcy 345 кВ було введено експериментальну установку CSC, яка поєднує в собі механізми впливу більшості засобів компенсації [3].

**Мета роботи.** Розглянути комплексний аналог засобів компенсації реактивної потужності та регулювання напруги

**Виклад матеріалу.** CSC (Convertible static compensator/ Трансформуючий статичний компенсатор) є удосконаленим варіантом STATCOM, що представляє собою комплексний засіб для стабілізації напруги в електричній мережі [7].

Оскільки ця модернізація бере початок від STATCOM, то вона також відноситься до засобів гібридних FACTS (Flexible alternating current transmissions systems), а саме установки поздовжньо-поперечної компенсації. Це визначає характерні особливості впливу CSC на роботу електричної мережі [3]. Серед основних:

- підвищує пропускну здатність ЛЕП та стійкість паралельної роботи електро-енергетичних систем;
- має вплив на потоки реактивної потужності по ділянках електричної мережі;
- збільшує значення струмів КЗ за рахунок зменшення еквівалентного опору ЛЕП;

- зменшує коливання напруги в електричній мережі та перешкоджає розвитку лавини напруги;

На даний момент CSC є «експериментальною» технологією, оскільки була запроваджена тільки на підстанції Нью-Йорка Marcy substation (345/230 кВ) з вихідною двоколовою лінією 345 кВ. Користь даного проекту та установки CSC загалом полягає у підвищенні динамічної стійкості системи, гнучкості керування напругою та складовими потужності, що передається лініями на виході та вході підстанції; не менш явним є факт зменшення втрат потужності (за рахунок впливу на потоки реактивної потужності та впливу на рівень напруги) [13].

Гібридна установка поздовжньо-поперечної компенсації на 200 МВА складається з двох перетворювачів з джерелом напруги, підключених до шини Marcy Substation через шунтувальний трансформатор 200 МВА або двох з'єднувальних трансформаторів по 100 МВА [14].

Принципова схема обертового статичного компенсатора показана на рис. 1.

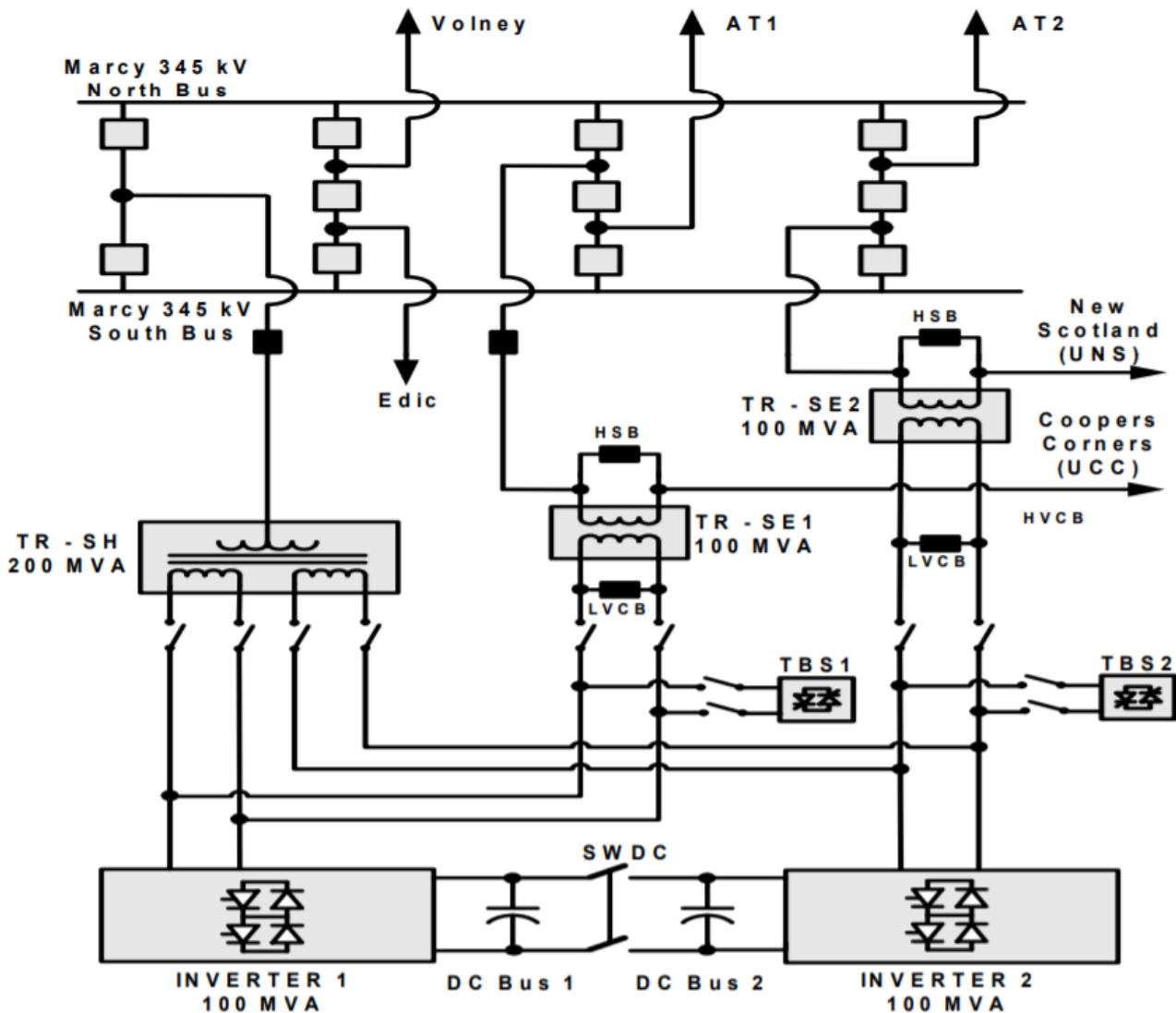


Рисунок 1 – Схема установки CSC на підстанції Marcy 345 кВ

Як бачимо, підстанція характеризується вузловим об'єднанням двох ліній електропередач (New Scotland і Coopers Corners). За даною схемою з'єднання, а також наявністю двох інверторів напруги з номінальною потужністю 100 МВА пристрій CSC має можливості до зміни принципів своєї роботи, в залежності від потреб регулювання. Зміна режиму роботи виконується перемикальними на рівні диспетчерів, що перетворюють схему з'єднання компенсатора з одного виду на інший [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Тому існує 4 основні режими роботи CSC, залежно від принципу з'єднання:

- два інвертори з'єднані в шунт працюють як STATCOM з номінальною потужністю 200 МВА;
- два інвертори з'єднані послідовно з однією лінією електропередачі, формуючи SSSC (Static Synchronous Series Compensator) з номіналом 200 МВА;
- якщо один інвертор є шунтувальним, а інший з'єднаний послідовно з лінією – маємо UPFC (Unified Power Flow Controller);
- при з'єднанні однієї ЛЕП з одним інвертором послідовно, та аналогічним з'єднанням другої ЛЕП з другим інвертором – отримуємо IPFC (Interline Power Flow Controller).

Отже, бачимо, що пристрій CSC є багатофункціональним. Через варіативність режимів його роботи він, очевидно, наслідуює переваги та недоліки кожного з функціональних стилів [11].

Для STATCOM можна виділити:

- з одного боку, висока швидкість стабілізація напруги, малі питомі втрати активної енергії, плавне керування генерованою/спожитою реактивною потужністю;
- з іншого, необхідність підключення через трансформатор, необхідність фільтрів вищих гармонік [7].

Для SSSC можна виділити:

- з одного боку, неперервний вплив на потоки реактивної потужності, можливість регулювання напруги в лінії та перерозподіл фазного навантаження;
- з іншого, погана динаміка регулювання при необхідності корегувати декілька параметрів одночасно [12].

Для UPFC можна виділити:

- з одного боку, можливість зменшення втрат потужності за рахунок надбавки напруги, керування потоками потужності по лінії, здатність збільшувати пропускну здатність ЛЕП;
- з іншого, порівняно велика затримка в підборі оптимальних параметрів для режиму через складність алгоритму роботи [7].

Для IPFC можна виділити:

- з одного боку, можливість регулювання параметрів в декількох лініях одночасно;
- з іншого, ускладненість конструкції при використанні пристрою на декілька ліній через застосування декількох конвертерів

Дана установка, незважаючи на таку універсальність не є розповсюдженою по декільком причинам.

По-перше, такий пристрій призначений для вузлового об'єднання двох і більше високовольтних ЛЕП (>110 кВ). Тобто, якщо розглядати саме лінії 110 кВ і більше, то вигідність даної установки у випадку контролю важливих магістральних мереж і міжсистемних зв'язків – очевидна. Якщо брати до уваги конкретні приклади, то в Україні таких ліній і підстанцій близько 130, але існує ще декілька недоліків установки CSC які не дозволяють Україні використовувати цей засіб компенсації [15].

Отже, другий недолік полягає у ціні і складності конструкції. Зважаючи на комплексність пристрою – він має складні для реалізації алгоритми роботи, потребує, відповідно, великих ресурсів, щоб обробляти всі команди, що надходять. Також транзисторна IGBT-основа у вигляді для даної конструкції є переважно складною і дорогою. За даними проєкта «NYPA`s Marcy 345 кВ» вартість всього обладнання, включаючи електронну частину, трансформаторну та будівництво відповідних диспетчерських пунктів на підстанції – обійдеться в маже \$60 млн [14].

Проблема місця, яке можуть займати окремі пристрої компенсації і регулювання напруги не може бути вирішена встановленням CSC, оскільки використання зазначеного засобу є подібним до обслуговування нестабільної системи. Тобто, багатозадачність обертового компенсатора не є затребуваною при розгляді звичайних міжсистемних зв'язків. Проблеми, які виникають в таких мережах, зазвичай типові, тому на підстанціях вузлових об'єднань високовольтних мереж встановлюється, як правило, один засіб регулювання, або два. Проте CSC є виправданим варіантом, коли існує необхідність часто змінювати і контролювати параметри мереж. Отже, виділення немалої площі для обладнання пункту управління CSC не є виправданим, через відсутність необхідності в різномісному керуванні.

Відзначивши проблему складності конструкції, слід звернути увагу на недешевий ремонт та обслуговування транзисторних і трансформаторних схем.

**Висновки.** Дана модель пристрою компенсації є інноваційною, а отже буде тільки вдосконалюватися. До того ж, мережі світу розширюються щодня тому для масового контролю стабільності режимів електричних мереж і систем CSC згодом буде застосований як безальтернативний варіант.

#### Перелік посилань

1. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://interweber.ru/mobile-device/staticheskiitiristornyi-kompensator-reaktivnoi-moshchnosti-razrabotka-i.html>

2. Електронний ресурс. Режим доступу: [https://paginas.fe.up.pt/~ee04109/Documentos%20e%20imagens/31%20%20NYPA%20Convertible%20Static%20Compensator%20\(CSC\)%20Application.pdf](https://paginas.fe.up.pt/~ee04109/Documentos%20e%20imagens/31%20%20NYPA%20Convertible%20Static%20Compensator%20(CSC)%20Application.pdf)

3. «*Electromagnetic Transients of Power Electronics Systems*» - Zhengming Zhao · Liqiang Yuan Hua Bai · Ting Lu

4. «*Restructured Electric Power Systems: Analysis of Electricity Markets with Equilibrium Models*» - Xiao-Ping Zhang

5. Электронный ресурс. Режим доступа:  
[https://books.google.com.ua/books?id=VNswYv1nsI0C&pg=PT69&dq=convertible+static+compensator&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKEwjXusSLnpzzAhWag\\_0HHbRjDQAQ6AF6BAgIEAI#v=onepage&q=convertible%20static%20compensator&f=false](https://books.google.com.ua/books?id=VNswYv1nsI0C&pg=PT69&dq=convertible+static+compensator&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKEwjXusSLnpzzAhWag_0HHbRjDQAQ6AF6BAgIEAI#v=onepage&q=convertible%20static%20compensator&f=false)
6. Электронный ресурс. Режим доступа:  
[https://books.google.com.ua/books?id=417BMFjnnsC&pg=PA822&dq=convertible+static+compensator&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKEwjXusSLnpzzAhWag\\_0HHbRjDQAQ6AF6BAgEEAI#v=onepage&q=convertible%20static%20compensator&f=false](https://books.google.com.ua/books?id=417BMFjnnsC&pg=PA822&dq=convertible+static+compensator&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKEwjXusSLnpzzAhWag_0HHbRjDQAQ6AF6BAgEEAI#v=onepage&q=convertible%20static%20compensator&f=false)
7. Электронный ресурс. Режим доступа:  
[https://research.iaun.ac.ir/pd/bahador.fani/pdfs/UploadFile\\_6422.pdf](https://research.iaun.ac.ir/pd/bahador.fani/pdfs/UploadFile_6422.pdf)
8. Электронный ресурс. Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Marcy\\_South](https://en.wikipedia.org/wiki/Marcy_South)
9. «*Real Time C-HIL Implementation of 100 MVA Convertible Static Compensator (CSC) for New York Power Authority*» - Semih Isik, Harshit Nath, Dr. Subhashish Bhattacharya
10. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://eprints.utar.edu.my/3142/1/3E-2016-1101052-1.pdf>
11. Электронный ресурс. Режим доступа:  
<https://isiarticles.com/bundles/Article/pre/pdf/54021.pdf>
12. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.ijert.org/research/a-review-on-power-flow-analysis-with-upfc-and-its-applicability-IJERTV2IS60704.pdf>
13. Электронный ресурс. Режим доступа:  
<https://www.ece.ualberta.ca/~dinavahi/ee430/Edris00.pdf>
14. Электронный ресурс. Режим доступа:  
[https://www.ieeepes.org/presentations/gm2014/NYPA\\_Convertible\\_Static\\_Converter\\_CSC\\_Refurbishment\\_IEEE.pdf](https://www.ieeepes.org/presentations/gm2014/NYPA_Convertible_Static_Converter_CSC_Refurbishment_IEEE.pdf)
15. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://ua.energy/peredacha-i-dyspetcheryzatsiya/merezhi-ukrenergo/>
16. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://studylib.net/doc/18196732/convertible-static-compensator-csc->
17. Электронный ресурс. Режим доступа:  
[http://mydocs.epri.com/docs/publicmeetingmaterials/1108/6xnsumje9mt/nypa\\_-\\_nypa\\_facts\\_csc\\_system.pdf](http://mydocs.epri.com/docs/publicmeetingmaterials/1108/6xnsumje9mt/nypa_-_nypa_facts_csc_system.pdf)