

## ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИСТРОЇВ FACTS

*Каленюк А.О., магістрант, Хоменко О.В., к.т.н., доцент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем*

**Вступ.** Однією з актуальних проблем транспортування електроенергії в ОЕС України є недостатня пропускна спроможність ряду системоутворюючих ЛЕП для передачі потужності, що обмежує можливості розвитку ринку електроенергії.

Під пропускною здатністю ліній електропередачі приймається максимальна потужність, яка може бути передана по лінії без обмеження тривалості режиму передачі електроенергії при дотриманні всіх експлуатаційних вимог - обмеження щільності струму в проводах, обмеження коливань напруги, забезпечення стійкості режиму:

$$P = \frac{U_1 \cdot U_2}{X_l} \sin \delta; \quad Q_1 = \frac{U_1(U_1 - U_2 \cos \delta)}{X_l}; \quad Q_2 = \frac{U_2(U_2 - U_1 \cos \delta)}{X_l}. \quad (1)$$

Тут  $U_1, U_2$  – напруги на початку та в кінці лінії;  $X_l$  – індуктивний опір лінії,  $\delta$  – кут між векторами  $U_1$  і  $U_2$ .

Перша вимога задовольняється відповідним вибором активного перерізу проводу при проектуванні лінії. Друга вимога визначає необхідні параметри лінії і склад компенсуючих приладів, які забезпечують баланс реактивної потужності. Третя умова визначає додаткові вимоги до параметрів лінії і компенсуючих приладів, які повинні задовольняти перші дві [2].

Межа переданої потужності по коротким ЛЕП 220 кВ і 330 кВ обмежена, як правило, термічною стійкістю проводів. Для довгих ЛЕП 500 кВ и 750 кВ межа переданої потужності визначається статичною стійкістю.

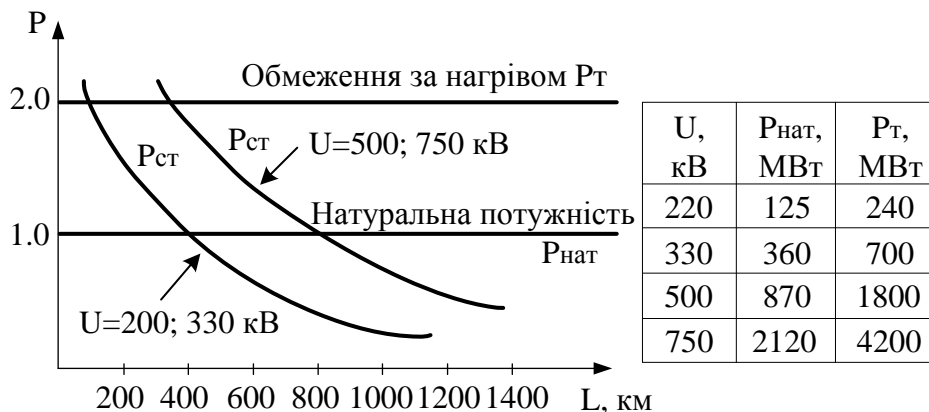


Рисунок 1 – Обмеження переданої потужності ЛЕП

Проблема стійкості виникає, якщо величина транспортного кута більше  $40^\circ$ . Для керування кутом використовують різні методи, включаючи і компенсацію.

Для вирішення проблеми пропускної здатності ЛЕП найбільш перспективним засобом являється використання гнучких систем передачі

змінного струму (FACTS), що передбачає застосування сучасних перетворювальних пристроїв, потужністю від десятків до тисяч мегавольтампер. Зазначені пристрої здатні одночасно впливати на три основні параметри електропередачі: рівень напруги  $U$ , індуктивний опір лінії  $X_L$  і кут передачі  $\delta$ , що підвищує ефективність роботи та пропускну здатність високовольтних ЛЕП [3]. Це у свою чергу дозволяє підвищити статичну та динамічну стійкість ЕС, оптимізувати навантаження паралельних ліній зв'язку, зменшити втрати активної потужності за рахунок зміни поточкорозподілу паралельних ділянок мережі [1].

Впровадження систем FACTS в об'єднану енергосистему України на сьогодні є стратегічним напрямком досліджень вітчизняних науково-дослідних установ та організацій [2].

**Мета роботи.** Аналіз можливостей сучасних пристроїв FACTS при використанні їх для підвищення пропускну здатності мережі.

**Матеріали дослідження.** Гнучкі системи передачі електроенергії змінним струмом (FACTS) — загальна назва групи технологій, які значно підвищують потужність ліній електропередачі з одночасним збереженням або навіть покращенням стабільності та надійності системи. Найбільш розповсюджені на даний момент пристрої FACTS поділяються на: системи повздожньої компенсації, системи поперечної компенсації і системи комбінованої компенсації.

Обладнання FACTS займає малу площу, а тому спричиняє мінімальний вплив на навколишнє середовище. Такі електричні установки дозволяють швидше та вигідніше з економічної точки зору забезпечити додаткову потужність мережі у порівнянні з будівництвом додаткових ЛЕП [3].

Лідерами на світовому ринку приладів FACTS є компанії Siemens, ABB, Areva, General Electric, серед яких компанія ABB займає провідне місце у розгортанні статичних тиристорних компенсаторів (SVC) та постачає 55 % від загальної кількості, з яких 13 % — встановлені в азіатських країнах. Найбільш поширеним по встановленню пристроєм класу паралельної компенсації та систем FACTS у цілому є пристрій SVC. Серед пристроїв повздожньої компенсації однією з найбільш поширених є тиристорна установка повздожньої компенсації (TCSC) [1].

Різниця між впливом поперечної і повздожньої компенсацій на пропускну здатність вказана на рис. 2 [4].

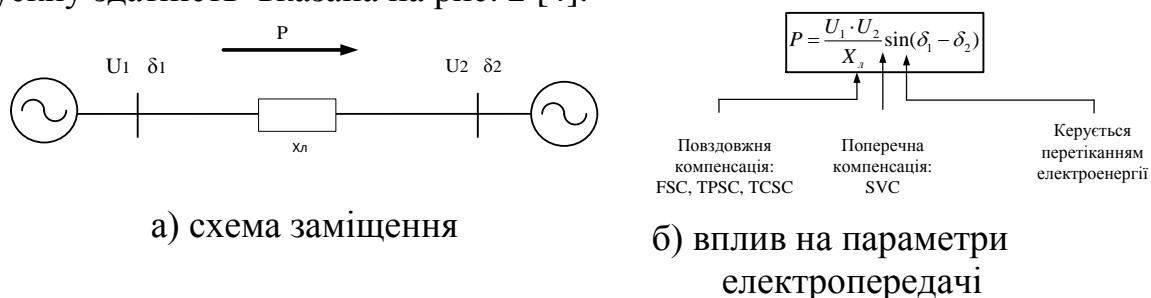


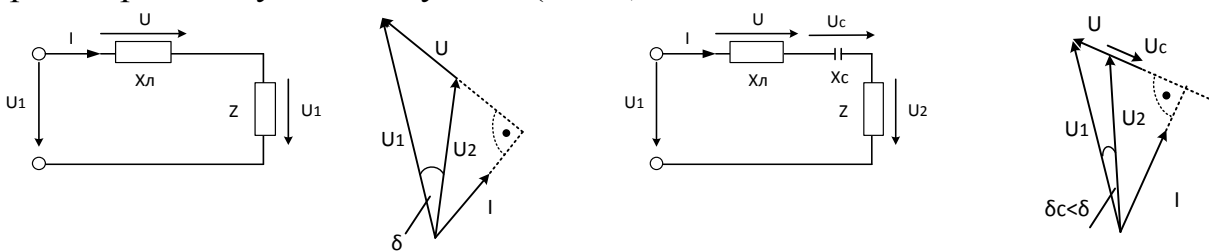
Рисунок 2 – Вплив пристроїв FACTS на пропускну здатність ЛЕП

Вибір пристрою із запропонованих систем виконується на основі економічного фактору і відповідно до регульованого параметру.

Розглянемо докладно вплив системи повздовжньої компенсації на підвищення пропускної здатності електричної мережі.

Для виконання поставленого завдання пропонуються некеровані послідовні конденсатори (FSP), конденсаторна батарея з тиристорним керуванням (TCSC), конденсаторна батарея з тиристорним захистом (TPSC) і фазоповоротний пристрій (ФПУ).

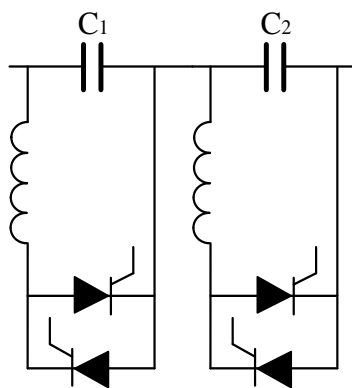
Загалом мета повздовжньої компенсації – це зниження індуктивності лінії передачі. Довжина лінії «віртуально» зменшується, відповідно передача енергії може бути збільшена. При цьому зберігається стабільність системи, так як відповідно до кутової характеристики лінії, на рисунку 4 б, значення транспортного кута зменшується (Рис 3).



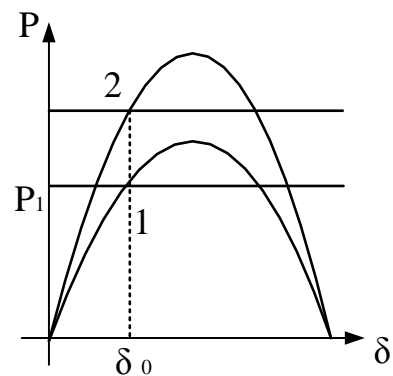
а) без повздовжньої компенсації    б) з повздовжньою компенсацією

Рисунок 3 – Вплив повздовжньої компенсації на параметри ЛЕП

TCSC являє собою ємнісний компенсатор, який включає повздовжню батарею конденсаторів, що шунтуються тиристорно-керуванним реактором з метою плавного регулювання реактивного опору (Рис. 4).



а) схеми заміщення

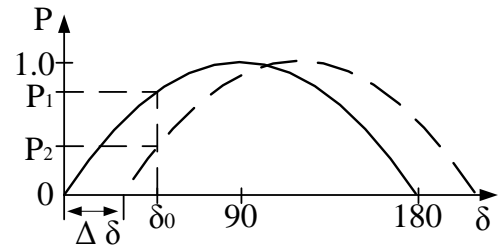
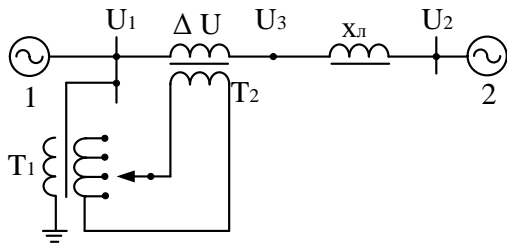


б) кутова характеристика TCSC

Рисунок 4 – Характеристики конденсаторної батареї з тиристорним керуванням

TPSC у свою чергу відрізняється від TCSC можливістю у короткий термін повернути лінію передачі до максимальної пропускної здатності після несправності.

Пристрій ФПУ впливає на кут передачі і відповідно на зміну потужності, що передається по лінії (Рис. 5).



а) Схема заміщення

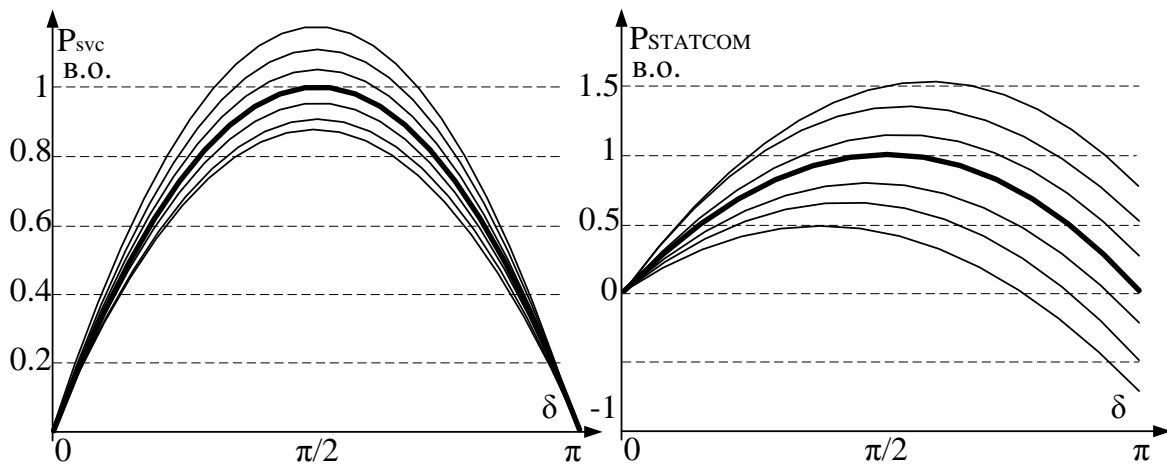
б) кутова характеристика ФПУ

Рисунок 5 – Характеристики фазоповоротного пристрою

Звернемося до впливу системи поперечної компенсації на підвищення пропускної здатності електричної мережі. У цьому випадку застосовуються пристрої SVS, STATCOM, SSSC (статичний синхронний поздовжній компенсатор) та MSC/MSCDN.

Використання SVS дозволяє підвищити пропускну здатність ЛЕП за рахунок: 1) підвищення статичної і динамічної стійкості передачі; 2) зниження відхилень напруги при великих збуреннях в системі; 3) стабілізації напруги; 4) обмеження внутрішніх перенапруг; 5) підвищення передаточної здатності електропередачі за рахунок покращення стійкості при великій потужності, що передається (Рис 6).

STATCOM виконує ті ж самі функції, що і SVS, але завдяки своїй будові при зміні напруги мережі він автоматично і миттєво змінює реактивну потужність. Він має більшу швидкодію ніж SVS, а потужність тиристорного перетворювача STATCOM більше потужності SVC на 20-30 % (Рис. 6).



а) Для SVS

б) Для STATCOM

Рисунок 6 – Кутові характеристики SVS та STATCOM

Комбінований пристрій – об'єднаний регулятор потоків потужності (UPFC). Має можливість регулювати всі три параметри, а саме рівень напруги  $U$ , індуктивний опір лінії  $X_l$  і кут передачі  $\delta$ , або одночасно, або незалежно один від одного відповідно до потреб.

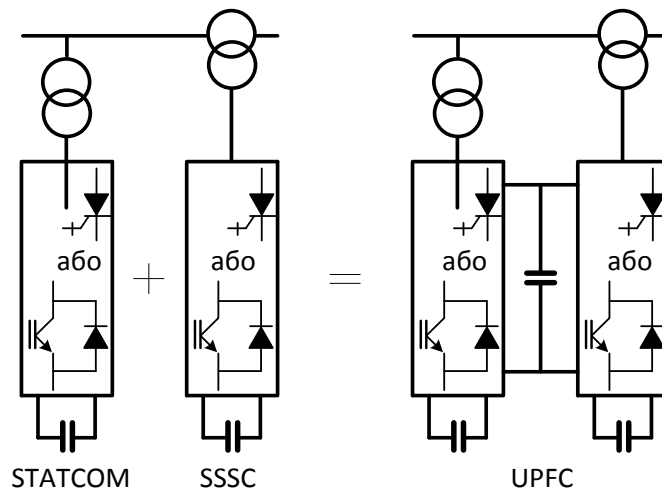


Рисунок 7 – Схема заміщення об'єднаного регулятора потоків потужності

Загальна характеристика рівнів (від низького до високого) впливу найбільш розповсюджених пристроїв FACTS на регулювання напруги, статичну стійкість і динамічну стійкість відповідно до [5] показана в таблиці 1.

Таблиця 1

	Регулювання напруги	Статична стійкість	Динамічна стійкість
SVS	Високий	Низький	Середній
STATCOM	Високий	Середній	Середній
TCSC	Низький	Високий	Середній
UPFC	Високий	Середній	Середній

**Висновки.** Застосування пристроїв FACTS дозволяє підвищити пропускну здатність електричної мережі за рахунок швидкої і адекватної реакції на відхилення основних параметрів режиму від заданих значень, регулювання рівнів напруги і кутів передачі. При цьому також підвищується стійкість системи.

Для ОЕС України економічно обґрунтоване впровадження пристроїв FACTS може посприяти у вирішенні проблеми транспортування електроенергії і дозволить наблизити її якість до загальноєвропейських показників.

#### Перелік посилань

1. Яндутьський О. С. Підвищення якості роботи енергосистем засобами систем гнучких передач змінного струму / О. С. Яндутьський, В. В. Мацейко. // Вісник чернігівського державного технологічного університету. – 2013. – С. 6.
2. Александров Г. Н. Режимы работы воздушных линий электропередачи / Г. Н. Александров. – Санкт-Петербург: НОУ "Центр подготовки кадров энергетики", 2006. – 139 с.
3. Технології АББ, які змінили світ. // АББ. – 2012. – С. 48.
4. Discover the World of FACTS Technology Technical Compendium. // Siemens. – 2011. – С. 24.
5. Alok Kumar Mohanty. Power System Stability Improvement Using FACTS Devices / Alok Kumar Mohanty, Amar Kumar Barik. // International Journal of Modern Engineering Research (IJMER). – 2012. – С. 666–672.