

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПРИСТРОЮ ТКПК

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

Вступ. Одна із актуальних проблем електроенергетики – необхідність передачі великих потужностей при недостатній пропускній здатності ряду системоутворюючих ЛЕП. Як результат, це обмежує розвиток ринку електроенергії, створює передумови виникнення перебоїв у електропостачанні окремих регіонів країни.

Пропускна здатність є однією з важливіших характеристик електропередачі, оскільки вона визначає економічні показники і роль лінії в електроенергетичній системі. Чим вище пропускна здатність лінії, тим кращі економічні характеристики лінії і тим більший вплив вона має на режим роботи усієї системи і її надійність.

Під пропускною здатністю лінії розуміється найбільша активна потужність, яка може бути передана по лінії з урахуванням всіх можливих обмежень [1]. Під можливими обмеженнями приймаються: обмеження щільності струму в проводах, обмеження коливань напруг, забезпечення статичної і динамічної стійкості режиму, допустиме нагрівання проводів та допустимий ККД лінії.

Максимальну потужність можна виразити формулою:

$$P_{max} = \frac{|U_1| \cdot |U_2|}{Z_B \cdot \sin \alpha_0 \cdot l} \cdot \sin \delta, \quad (1)$$

де: U_1 і U_2 – напруги, прикладена на початку та в кінці лінії, відповідно (кВ);

Z_B – хвильовий опір лінії;

δ – кут зсуву напруги початку і кінця лінії електропередачі;

$\alpha_0 \cdot l$ – хвильова довжина лінії; α_0 – коефіцієнт зміни фази; l – довжина лінії.

Хвильовий опір є однією з основних характеристик лінії електропередачі. Його величина визначається параметрами:

$$Z_B = \sqrt{\frac{r_0 + jx_0}{g_0 + jb_0}}, \quad (2)$$

де: r_0 – питомий активний опір проводу (Ом/км), який визначається матеріалом і сумарним перерізом фаз ЛЕП;

g_0 – питома активна поперечна провідність (См/км), яка визначається в основному величиною втрат на корону;

x_0 – питомий повздовжній індуктивний опір фаз лінії, $x_0 = \omega L_0$,

де: L_0 – індуктивність проводу, яка залежить від параметрів магнітного поля лінії, а також від конструкції лінії, перерізу проводів, кількості проводів і геометричних розмірів розщеплених фаз, відстані між фазами і габаритів лінії.

Як видно з (2), хвильовий опір тим менший, чим менше повздовжній індуктивний опір і чим більша поперечна ємнісна провідність.

З виразу (1) можна заключити, що величина максимальної потужності, що передається по лінії, є обернено пропорційною до значення хвильового опору. Таким чином для підвищення пропускної здатності необхідно прагнути до максимального зниження хвильового опору шляхом зменшення індуктивного опору і відповідного збільшення поперечної ємнісної провідності [2].

Для вирішення проблеми пропускної здатності ЛЕП перспективним засобом являється використання гнучких систем передачі змінного струму (FACTS), що передбачає застосування сучасних перетворювальних пристроїв, потужністю від десятків до тисяч мегавольт-ампер. Зазначені пристрої здатні одночасно впливати на три основні параметри електропередачі: рівень напруги U , індуктивний опір лінії X_L і кут передачі δ , що підвищує ефективність роботи та пропускну здатність високовольтних ЛЕП [3]. Впровадження систем FACTS в об'єднаній енергосистемі України є стратегічним напрямком досліджень вітчизняних науково-дослідних установ та організацій [4].

Мета роботи. Дослідження роботи пристрою ТКПК при застосування його для підвищення пропускної здатності мережі.

Матеріали і результати дослідження. Серед пристроїв поздовжньої компенсації одним з найбільш поширених є тиристорно-керований пристрій поздовжньої компенсації (ТКПК) [5].

Дослідження пристрою ТКПК та доцільність його застосування в енергомережі проводяться вже досить давно, як у нашій країні [5] так і за кордоном [6]. Показники, отримані в результаті досліджень свідчать, що запропонований пристрій здатен сприяти збільшенню пропускної здатності ЛЕП, а його застосування значно покращає показники енергосистеми в цілому.

Загалом TCSC являє собою ємнісний компенсатор, який включає поздовжню батарею конденсаторів, що шунтується тиристорно-керованим реактором з метою плавного регулювання реактивного опору (рис. 1).

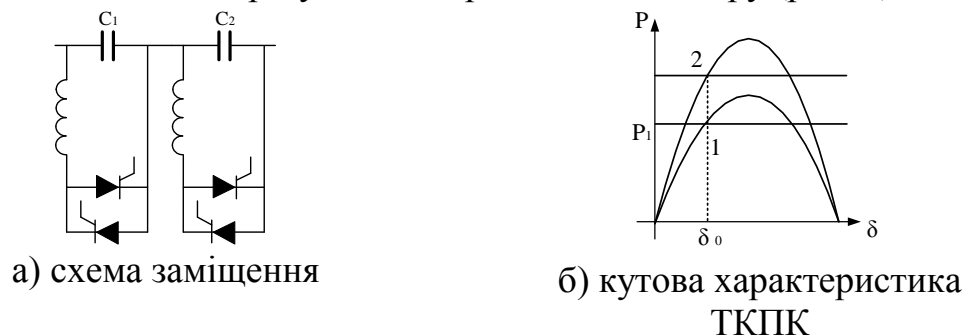


Рисунок 1 – Характеристики пристрою ТКПК

ТКПК може працювати у ємнісному та індуктивному режимі, але так як останній досить рідко використовуються на практиці у дослідженні буде

використовуватися ємнісний режим роботи. В якості системи керування пристроєм використовується PI контролер, окрім якого в ємнісному режимі роботи присутнє корегування з випередженням по фазі. Кожен контролер додатково обладнаний адаптивним контуром керування для підвищення продуктивності. Схема запуску використовує PLL елементи для синхронізації за струмом, оскільки синхронізація за напругою неможлива через широкий діапазон варіювання значень останньої протягом роботи пристрою.

Принцип, за яким пристрій ТКПК впливає на пропускну здатність лінії, можна виразити формулою:

$$P_{max} = \frac{|u_1| \cdot |u_2|}{X_L + X_{ТКПК}(\alpha)} \cdot \sin \delta \quad (3)$$

де: $X_{ТКПК}(\alpha)$ – опір, яким ТКПК впливає на параметри лінії. Його ємнісний чи індуктивний характер визначається кутом α .

В якості об'єкту дослідження розглядається лінія передачі, обладнана ТКПК з одним джерелом та навантаженням від споживача.

Опираючись на запропоновану у [7] модель, виконаємо дослідження її роботи у двох режимах: лінія працює без компенсації та скомпенсована ТКПК.

Зазначимо, що у досліджуваній системі пристрій ТКПК розміщений на лінії напругою 500кВ.

У першому режимі роботи (рис. 2) максимальна потужність, яка передається по лінії сягає 660 МВт.

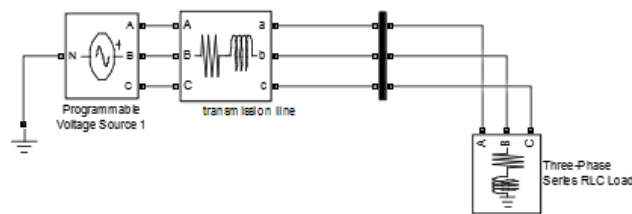


Рисунок 2 – Модель лінії електропередачі без пристрою ТКПК

При встановленні пристрою ТКПК (рис. 3) потужність зростає до 765 МВт, відповідно компенсуючий вплив пристрою складає 13,7%. Розмір компенсуючого впливу можливо змінити відповідними налаштуваннями ТКПК.

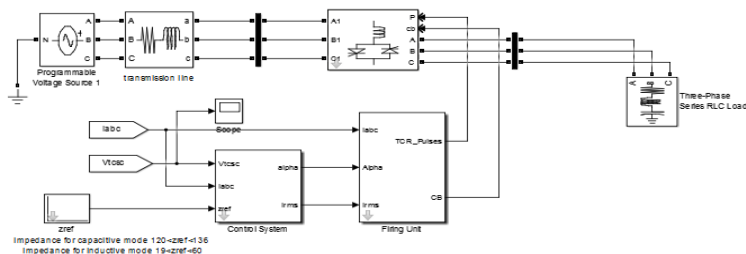


Рисунок 3 – Модель лінії електропередачі з ТКПК

На графіку (рис.4) відображаються приведені раніше значення зміни потужності, яка передається по лінії. При чому для наочності відображення результатів, пристрій ТКПК починає впливати на пропускну здатність з 0.5 секунди, до цього часу лінія працює без компенсації.

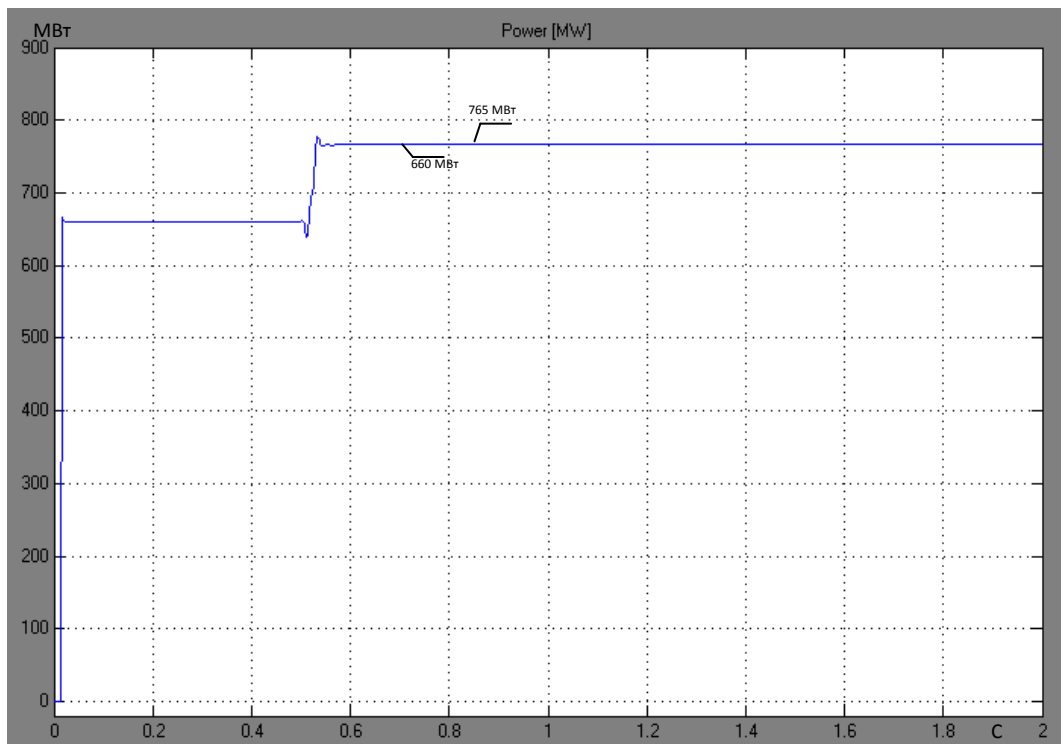


Рисунок 4 – Результат моделювання роботи ТКПК

Отже, відповідно до рис. 4. пропускна здатність лінії підвищилася на 105МВт. Проаналізовано принцип роботи самого пристрою. Головні сигнали, які характеризують роботу ТКПК – повний опір пристрою, тиристорний струм та зміна кута спрацювання α . Характеристика параметрів пристрою ТКПК у процесі роботи зображена на рис. 5.

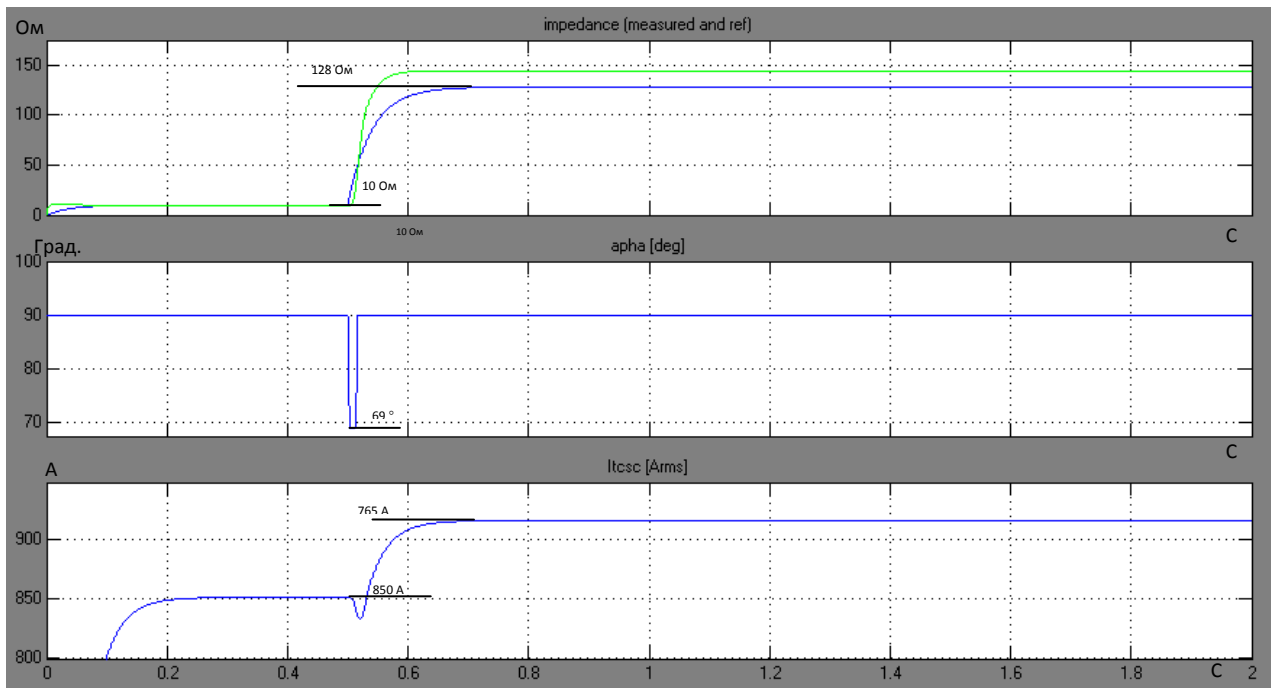


Рисунок 5 – Зміна основних параметрів ТКПК

На першому графіку на рис 5. відображається зміна повного опору пристрою, значення підвищуються з 10 Ом до 128 Ом для забезпечення

необхідної компенсації. Згідно з [7] це значення відповідає ємнісному режиму роботи пристрою ТКПК.

Кут α , зміна якого відображається на другому графіці, у свою чергу на початку процесу знизив своє значення до 69° , а потім повернувся до 90° , що також може охарактеризувати ємнісне протікання процесу компенсації. Це має значення через те, що як зазначалося раніше, пристрій може працювати у двох режимах і коли кут α знаходиться в діапазоні від 0° до 49° , режим роботи пристрою індуктивний. При цьому передача потужності по лінії навпаки зменшується [7].

Струм на тиристорі після початку роботи пристрою збільшився з 850 А до 916 А.

Висновки. Проведені дослідження параметрів роботи ТКПК, у процесі яких показано, що лінія була скомпенсована на 13,7%, а величина переданої потужності підвищилася на 105 МВт. Пристрій ТКПК показав досить адекватну і швидку реакцію на необхідність підвищення пропускної здатності лінії, і відповідно до цього можна зробити висновок про доцільність використання зазначеного пристрою для покращення пропускної здатності ЛЕП.

Перелік посилань

1. Рыжов Ю. П. Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения: учебник для вузов / Ю. П. Рыжов. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2007. – 488 с.
2. Управляемые компактные линии электропередачи переменного тока / Постолатий В.М., Быкова Е.В, Суслов В.М. та ін.]. // international conference “energy of moldova”. – 2012. – с. 273.
3. Технології АВВ які змінили світ.// АВВ.-2012.-С.48.
4. Александр Г.Н. Режимы работы воздушных линий электропередачи/ Г.Н. Александров. – Санкт-Петербург: НОУ\ «Центр подготовки кадров энергетики», 2006. 139с.
5. 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.
6. Francisco M. Gonzalez-Longatt. PowerFactory Applications for Power System Analysis / Francisco M. Gonzalez-Longatt, José Luis Rueda. – London: Springer, 2014. – 489 с. – (Springer).
7. D.Jovcic, G.N.Pillai "Analytical Modelling of TCSC Dynamics" IEEE® Transactions on Power Delivery, vol 20, Issue 2, April 2005, pp. 1097-1104