

ПОРІВНЯННЯ ГНУЧКИХ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ЗМІННОГО СТРУМУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ НАПРУГИ ІНТЕГРОВАНОЇ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В даній роботі розглянуто технології реалізації системи передачі змінного струму для забезпечення стабільності напруги. Проведено порівняльний аналіз технологій, відзначено переваги та недоліки систем.

Ключові слова: відновлювальна енергія, стабілізація напруги, статичний компенсатор.

Abstract

In this work, the technologies for implementing an alternating current transmission system to ensure voltage stability are considered. A comparative analysis of technologies was carried out, the advantages and disadvantages of the systems were noted.

Keywords: regenerative energy, voltage stabilization, static compensator.

Вступ

Зростання розвитку технологій відновлюваної енергії обумовлено спробами пом'якшити наслідки глобального потепління. Глобальний попит на енергію продовжує зростати, оскільки розробляються нові системи, що працюють на електроенергії, наприклад електромобілі і коли віддалені споживачі підключаються до мережі. Однією з проблем є стабільність напруги. Застосування гнучких систем передачі змінного струму (FACTS) є провідним напрямком підвищення стабільності напруги для сучасних електромереж, що характеризуються зростаючим рівнем інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Проблеми стабільності напруги та якості електроенергії є основними факторами, які обмежують рівень інтеграції відновлюваної енергії в системи передачі [1]. Зокрема, стабільність напруги стає домінуючою проблемою, яку необхідно вирішити, коли рівень інтеграції ВДЕ значно зростає [2].

Результати досліджень

Щоб досягти технологічної здійсненності та економічної життєздатності енергетичної системи, допоміжні задачі, такі як підтримка реактивної потужності та заходи стабільності напруги, повинні бути встановлені для успішної інтеграції та експлуатації змінної генерації ВДЕ [3]. Пристрої FACTS часто використовуються для підвищення стабільності енергосистеми та покращення якості електроенергії. З боку підприємств, рівні напруг різних шин в електричній системі розподілення електричної енергії мають бути в допустимих межах для належного функціонування технологічного комплексу. Задача підтримання напруги на шинах споживачів тісно пов'язана з залежністю продуктивності споживачів від напруги. Напруга на шинах споживачів безпосередньо впливає на надійність електрообладнання. Значний вплив від зміни напруги спостерігається на продуктивності нагрівального обладнання, зокрема сталеплавильних чи скловарних печей, котрі збільшують термін плавки в 1,5-2 рази при зменшенні напруги на 5 % відносно номінальної напруги. Існують різні типи пристроїв FACTS, кожен зі своїми супутніми функціями, перевагами та недоліками [4]. Пристрій FACTS можна використовувати як окремо, так і разом з іншим типом пристрою FACTS, щоб забезпечити контроль параметрів системи передачі, що представляють інтерес, які є важливими для успішної роботи мережі. Такі пристрої FACTS, як статичний синхронний компенсатор (STATCOM), статичний компенсатор реактивної потужності (SVC), уніфікований контролер потоку електроенергії (UPFC), статичний синхронний послідовний компенсатор (SSSC) і тиристорно-керований

послідовний конденсатор (TCSC), використовуються для підвищення напруги мережі, стабільності і якості електроенергії з різним ступенем ефективності.

Звичайні пристрої FACTS — це пристрої на базі силової електроніки, які часто використовуються в сучасних енергосистемах для оптимізації загальної продуктивності мережі. Пристрої FACTS можна загалом класифікувати як послідовні або шунтуючі. До послідовних пристроїв відносять TCSC і SSSC, до шунтуючих - STATCOM і SVC. UPFC пристрій є послідовним шунтом, що поєднує в собі переваги обох типів. В сучасних комплексах STATCOM використовуються високодинамічні компенсатори на базі перетворювачів джерела напруги (VSC), які, порівняно з рішеннями на базі шунтуючих тиристорів реактивної потужності (SVC), забезпечують покращений діапазон робочої напруги з вищим реактивним вихідним сигналом при нижчій нарузі системи та надійною підтримкою відновлення за серйозних збоїв у системі, забезпечують меншу площу. Ключові особливості системи STATCOM є те, що зазвичай вона підключається до мережі високої напруги (HV) через понижуючий силовий трансформатор, завжди симетрична номінальна потужність в індуктивній та ємнісній робочих областях, доступні гібридні рішення для збільшення номінальної потужності. Результати порівняльного аналізу основних характеристик пристроїв FACTS зведено до таблиці 1.

Таблиця 1 - Порівняння приладів FACTS.

Тип	Особливості	Режим роботи	Помітні переваги та недоліки
TCSC	Послідовно з'єднаний конденсатор з тиристорним контролером	Контролює загальну приймальну здатність лінії передачі за допомогою кута спрацювання тиристора	<ul style="list-style-type: none"> • Покращена передача реальної потужності та кращий субсинхронний резонанс і демпфування коливаний. • Потрібні громіздкі конденсатори та реактори
SSSC	Послідовне з'єднання, використовує перетворювач джерела напруги з вимикачами затвора	Компенсує реактивний опір лінії електропередачі за допомогою джерела напруги з регульованим струмом	<ul style="list-style-type: none"> • Не вимагає громіздких конденсаторів і реакторів • Здатний вводити реальну потужність за допомогою джерела енергії, підключеного до сторони постійного струму. • Вища вартість і складність порівняно з TCSC
SVC	Шунтування з різними можливими конфігураціями керування тиристорами конденсаторів і реакторів	Загальна сприйнятливості контролюється шляхом керування кутом спрацювання тиристора. Це, у свою чергу, контролює напругу на клемі підключеної шини.	<ul style="list-style-type: none"> • Дешевше, ніж STATCOM, з меншими втратами • Повільніший відгук через затримку часу, пов'язану з перемиканням тиристора
STATCOM	Шунтовий, використовує перетворювач джерела напруги з контролером широтно-імпульсної модуляції	Перетворювач джерела напруги перетворює постійну напругу в синусоїдальну вихідну напругу з регульованою амплітудою та фазовим кутом, щоб забезпечити компенсацію реактивної потужності підключеної енергосистеми.	<ul style="list-style-type: none"> • Пропонує кращу продуктивність, ніж SVC, і демонструє характеристики постійного струму при низькій нарузі, таким чином здатний вводити або поглинати реактивну потужність під час умов низької напруги мережі. • Вищі втрати та вища вартість, ніж SVC аналогічних рейтингів.
UPFC	Послідовно підключений шунт, комбінація послідовних і шунтових інверторів джерела напруги, підключених через ланцюг постійного струму	Забезпечує керування потоком активної та реактивної потужності за допомогою послідовних і шунтових перетворювачів, що працюють через загальну ланцюг постійного струму та систему зберігання шунтуючих конденсаторів.	<ul style="list-style-type: none"> • Поєднує в собі переваги SSSC і STATCOM. • Здатний подавати і поглинати як реальну, так і реактивну потужність • Вища вартість і складність, ніж інші типи FACTS.

На сьогодні ще існує недостатня кількість досліджень, які стосуються шляхів покращення стабільності напруги енергосистем за допомогою пристроїв FACTS, коли в системі використовується більше одного джерела генерації ВДЕ. Більшість робіт зосереджено на підключених до мережі WECS або інтегрованих в мережу сонячних фотоелектричних системах. Тому потрібен більш комплексний аналіз для вивчення стабільності напруги ВДЕ інтегрованої мережі з двома або більше джерелами. Дослідження показують різний рівень продуктивності кожного пристрою FACTS щодо підвищення стабільності напруги. Наприклад, було показано, що STATCOM забезпечує кращу підтримку напруги, ніж SVC, однак він коштує дорожче, ніж SVC того самого рівня інтегрування. Таким чином, SVC може бути дешевшою альтернативою для економік, що розвиваються, ніж STATCOM. Таким чином, буде необхідний компроміс між вартістю та продуктивністю, щоб отримати найбільш оптимальний і економічно доцільний пристрій FACTS, який буде обрано для конкретних застосувань у мережі. Цей компромісний сценарій потребує подальшого вивчення, особливо для енергосистем, що розвиваються. Вищезазначені дослідження інтеграції сонячних фотоелектричних систем

продемонстрували потенційне застосування PV-STATCOM для підвищення стабільності напруги. Більш комплексну роботу щодо практичної користі та впровадження PV-STATCOM необхідно додатково дослідити з відповідними стратегіями керування, придатними для сучасної електромережі, що розвивається. Останнім часом деякі дослідження зосереджені на можливості використання накопичувачів енергії для підвищення короткострокової стабільності напруги. Деякі з досліджуваних пристроїв включають надпровідний магнітний накопичувач енергії та акумуляторну систему накопичення енергії. Однак дослідницька робота в цьому аспекті недостатня, оскільки інтеграція ВДЕ зростає. Таким чином, необхідно провести подальші дослідження щодо застосування систем зберігання енергії для забезпечення стабільності напруги з огляду на сучасну тенденцію збільшення інтеграції ВДЕ.

Висновок

Враховуючи можливість рівня інтеграцій ВДЕ до 100% у найближчому майбутньому в традиційні системи, існує необхідність у подальшому дослідженні та ретельному аналізі необхідних функцій, таких як контроль напруги, компенсація реактивної потужності та підвищення якості електроенергії. Це стає необхідним для того, щоб такі майбутні мережі були технологічно життєздатними та економічно стійкими.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Z. Tang, D.J. Hill, T. Liu, Two-stage voltage control of subtransmission networks with high penetration of wind power, *Contr. Eng. Pract.* 62 (2017/05/01/ 2017) 1–10.
2. L. Chen, Y. Min, Y. Dai, M. Wang, Stability mechanism and emergency control of power system with wind power integration, *IET Renew. Power Gener.* 11 (1) (2017) 3–9.
3. M.E. Meral, D. Çelik, A comprehensive survey on control strategies of distributed generation power systems under normal and abnormal conditions, *Annu. Rev. Contr.* 47 (2019) 112–132.
4. S. Venkateswarlu, M. Janaki, R. Thirumalaivasan, N. Prabhu, A review on damping of torsional interactions using VSC based FACTS and subsynchronous damping controller, *Annu. Rev. Contr.* 46 (2018) 251–264.

Рубаненко Олександр Євгенійович — к.т.н., проф. кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: rubanenko.o.y@vntu.edu.ua

Богдановський Мартін Віталійович — магістрант, група ЕС-22мз, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: aikt_bmv@ztu.edu.ua

Rubanenko Oleksandr Y. — Ph.D., prof. of department of electrical plants and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: aikt_bmv@ztu.edu.ua

Bogdanovskyi Martin V. — Master's student, group EC-22mz, Faculty of Electric Power and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: aikt_bmv@ztu.edu.ua