

В. В Кучанський¹

Ю. І. Тугай¹

І.Ю. Тугай¹

КОМПЕНСУВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ МАГІСТРАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ СУЧАСНИХ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ

¹ Національна академія наук України Інститут електродинаміки, Київ;

Викладено основні вимоги до компенсування реактивної потужності в системах електропередавання змінного струму надвисокої напруги. Наведено блок-схема планування компенсування реактивної потужності керованими шунтувальними реакторами та статичними синхронними компенсаторами.

Ключові слова: компенсування реактивної потужності, керований шунтувальний реактор, міжнародна електротехнічна комісія, системи змінного струму надвисокої напруги

Вступ

В даний час у зв'язку зі значним зниженням активного навантаження і незважаючи на відносну стабілізацію електроспоживання за останні 2-3 роки, системоутворюючі лінії електропередачі можуть бути завантажені активною потужністю, значно меншою за натуральну. Надлишок генерованої при цьому реактивної потужності може призвести до неприпустимого підвищення напруги, особливо в мережах надвисокої напруги. У зв'язку з цим, для ЕС України актуальною є проблема введення режиму в допустиму область напруги з використанням усіх доступних оперативних засобів управління режимом напруги та реактивної потужності.

Для вирішення цього завдання в даний час використовується ряд режимних заходів, таких як управління режимом роботи генераторів і синхронних компенсаторів по реактивній потужності, виведення в резерв ненавантажених ліній електропередачі, зміна коефіцієнтів трансформації трансформаторів (автотрансформаторів), відключення батарей статичних конденсаторів у споживачів у періоди підвищених напруг, максимальне використання шунтувальних реакторів, що знаходяться в експлуатації, і т.д. Очевидно, що при реалізації всіх перерахованих режимних заходів слід забезпечити їх максимальну ефективність, що обумовлює необхідність пошуку такого рішення, яке дозволить при мінімальних керуючих впливах дозволити отримати найбільший ефект з точки зору зниження напруги.

Результати дослідження

Системи електропередач надвисокої напруги (НВН) дозволяють передавати електроенергію на великі відстані з мінімальними втратами за допомогою змінного або постійного струму. Створювати такі системи допомагають релевантні добровільні стандарти, засновані на консенсусі, від Міжнародної електротехнічної комісії (International Electrical Commission; ІЕС; МЕК). Оскільки попит на електроенергію у всьому світі збільшується, лініям електропередачі потрібно забезпечувати більш високу пропускну здатність. Використання відновлюваних джерел енергії в регіонах, розташованих на великій відстані від міст (включаючи морські вітряні електростанції вдалині від узбережжя або сонячні ферми в пустелях), також створює необхідність у ЛЕС з високою пропускну здатністю, що охоплюють великі відстані. З цих причин потреба в системах електропередач надвисокої напруги в майбутньому лише зростатиме. Стандартизація систем передачі змінного струму надвисокої напруги на базі Міжнародної електротехнічної комісії наразі імпантується у всьому світі [1-4].

У системах змінного струму НВН потрібно запланувати й установити відповідну кількість джерел реактивної потужності, щоб задовольнити вимоги регулювання напруги в системі та зменшити значення небажаного передавання реактивної потужності між різними вузлами мережі / рівнями напруги. Потрібно підтримувати достатній обсяг постачання реактивної потужності з наявним резервом, охоплюючи достатній обсяг резерву реактивної потужності. Потужність, тип і розташування компенсаторів реактивної потужності потрібно вибирати, щоб покращити можливості передавання електроенергії та розширення меж стійкості системи. Проектування та конструювання компенсаторів реактивної потужності для систем змінного струму НВН має відповідати вимогам щодо обмеження значень величини перенапруг для систем змінного струму НВН.

На загал, пристрої компенсування реактивної потужності мають бути розташовано на первинній, вторинній і третинній обмотці трансформатора НВН на основі загальних вимог щодо регулювання значення величини напруги та мінімізування загальних витрат [5-7]. Принцип розміщення пристроїв компенсування реактивної потужності на первинній і вторинній обмотці трансформатора НВН однаковий, за винятком випадків, коли враховано питому вартість компенсування реактивної потужності та її ефективності регулювання величини напруги на первинному боці трансформатора НВН. Отже, перелік пристроїв компенсування реактивної потужності для первинного та вторинного боку трансформатора однаковий.

Основні етапи налаштування компенсації реактивної потужності для систем змінного струму НВН такі:

а) Визначити діапазон імовірного значення передаваної активної потужності через лінію НВН, а потім обчислити й проаналізувати характеристики реактивної потужності та профілі напруги вздовж лінії НВН, враховуючи зарядну реактивну потужність, генеровану лініями НВН, і втрати реактивної потужності за різних умов поточкорозподілення. Моделювання потрібно повторити для кожного сценарію, щоб визначити рівень компенсації, за якої забезпечуються рівні напруги в прийнятних межах. Одним із методів цього є визначення потрібної компенсації на кожній шині за допомогою статичного синхронного компенсатора (СТАТКОМ) із великим діапазоном регулювання. Розрахований діапазон регулювання СТАТКОМ, який підтримує напругу на шинах на рівні 1,0 в.о. технічним засобом компенсування на цих шинах.

б) Вибрати положення відводів трансформатора НВН, щоб уникнути перенапруг за різних робочих умов, враховуючи розташування підстанції НВН, кількість під'єднаних ліній електропередавання та режим роботи системи.

с) Вибрати потужність і розташування лінійних шунтувальних реакторів НВН з урахуванням таких чинників:

1) обмеження тимчасових перенапруг та зменшення струму вторинної дуги;

2) балансування зарядної потужності ліній і гнучке керування напругою шин.

д) Визначити загальну та одиничну потужність компенсаторів, установлених на третинній обмотці трансформатора. Загальну потужність потрібно вибирати так, щоб зменшити обмін реактивної потужності між різними рівнями напруги й підтримувати напругу на шинах у межах допустимого діапазону; вибір ємності однієї батареї має враховувати підтримування коливальних напруги, спричинених перемиканням однієї батареї конденсаторів або реактора в обґрунтованому діапазоні. Встановити динамічні межі реактивної потужності, яку забезпечують генератори в межах можливого діапазону.

е) Перевірити, чи достатній динамічний запас реактивної потужності, який забезпечують генератори, в межах їхнього діапазону реактивної потужності. Якщо він адекватний, то процес перевіряння зупиняється; та потрібно вернутися до пункту d).

На рисунку 1 наведено процес планування компенсування зарядної потужності.

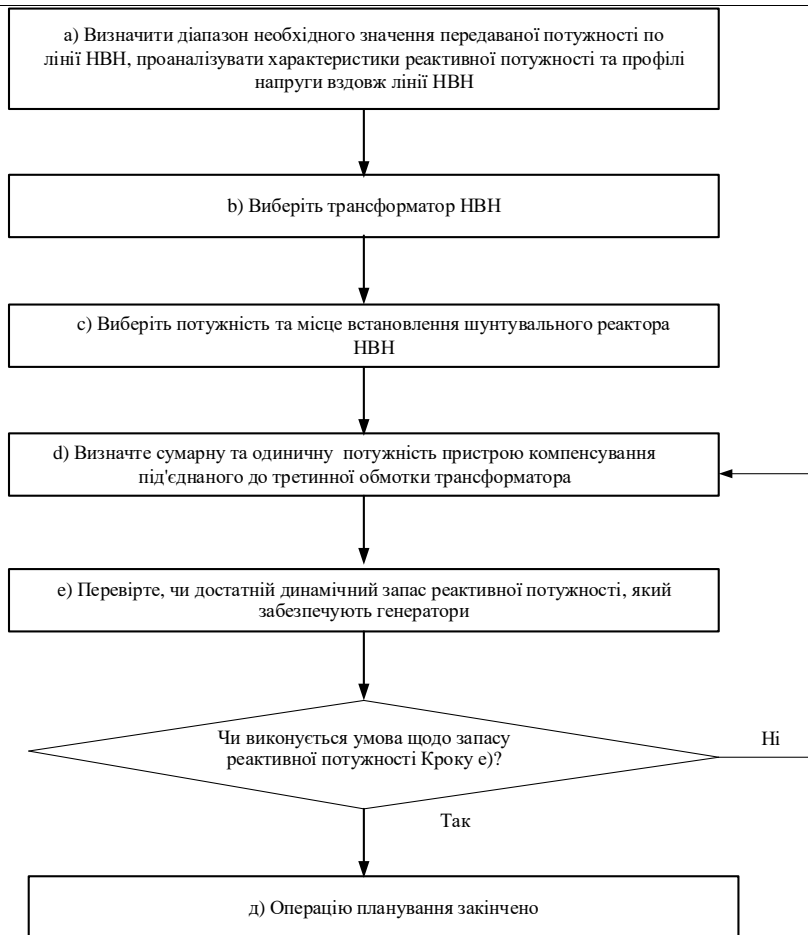


Рисунок 1 – Блок-схема планування компенсації реактивної потужності

Компенсація реактивної потужності на боці НВН (первинна обмотка) належить до електроустановки, яке безпосередньо під'єднано до лінії або шини змінного струму НВН, охоплюючи фіксовану потужність і керовані шунтувальні реактори. Поперечне НВН компенсація реактивної потужності в основному використовують для компенсації зарядної потужності лінії електропередавання НВН, обмеження тимчасових перенапруг та обмеження значення величини напруги до значень, нижчих максимально робочої напруги під час живлення лінії електропередавання. Крім того, для обмеження струму вторинної дуги можна використовувати шунтувальний реактор з під'єднанням до нейтральної точки компенсаційним реактором.

Для компенсації реактивної потужності та обмеження перенапруг використовують шунтувальний реактор, під'єднаний до ЛЕП НВН. Для підстанцій з кількома короткими лініями зазвичай шунтувальний реактор під'єднано до шини, яку в основному використовують для компенсації зарядної потужності лінії електропередавання НВН.

Пристрій компенсації реактивної потужності під'єднано до третинної сторони трансформаторів НВН, в основному це шунтувальні конденсатори, шунтувальні реактори та статичні ВАР-компенсатори (СТАТКОМ), які в основному використовують для забезпечення вимог щодо компенсації реактивної потужності системи НВН змінного струму для зменшення реактивної потужності трансформатора, втрат потужності та для регулювання напруги системи.

. Значення величини k_L зазвичай отримують на основі розрахунку перенапруги та балансу реактивної потужності, який зазвичай становить менше ніж 0,85, щоб уникнути коливань під час перемикання. Якщо лінія коротка і лінійні реактори не потрібні, тоді

вимогу щодо компенсування реактивної потужності може бути виконано компенсуванням реактивної потужності шини. Потребу в шунтувальному реакторі на лінії потрібно визначати, враховуючи ефект Ферранті під час подання напруги та обмеження короткотривалих перенапруг. Зазвичай беруть найближче уніфіковане значення реактивної потужності МВАр. Загалом це компенсування реактивної потужності на затискачах ЛЕП.

Для ефективного використання лінійного реактора, коли лінія не працює, можна встановити роз'єднувач між кінцем лінії та точкою з'єднання лінійного реактора. Якщо лінія не працює, роз'єднувачі можна розімкнути й використати лінійний реактор як шинний реактор без лінії. Забезпечення шунтувальних реакторів автоматичними вимикачами можна розглядати тоді, коли реактивна компенсація не потрібна для обмеження комутаційних перенапруг.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] IEC TS 63042-101:2019 UHV AC transmission systems - Part 101: Voltage regulation and insulation design
- [2] Kundul S.; Ghosh T.; Maitra K. Acharjee; P.; Thakur S.S Optimal Location of SVC Considering Techno-Economic and Environmental Aspect // 2018 ICEPE 2nd International Conference on Power, Energy and Environment: Towards Smart Technology 1-2 June 2018 Shillong, India, India pp. 15-19 <https://DOI/10.1109/EPETSG.2018.8658729>
- [3] Gu S., Dang J., Tian M., Zhang B.. Compensation degree of controllable shunt reactor in EHV/UHV transmission line with series capacitor compensation considered. Proceedings of International Conference on Mechatronics, Control and Electronic Engineering (MCE 2014), Shenyang, China August 29-31, 2014, pp. 65–68. <https://doi.org/10.2991/mce-14.2014.14>
- [4] Chandrasekhar R.; Chatterjee D.; Bhattacharya T.. A Hybrid FACTS Topology for Reactive Power Support in High Voltage Transmission Systems IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society October 21-23, 2018 at the historic Omni Shoreham Hotel, Washington DC, USA, 2018 pp. 65-70. <https://DOI/10.1109/IECON.2018.8591988>
- [5] Кучанський, В., & Малахатка, Д. (2021). Заходи та технічні засоби підвищення ефективності режимів роботи магістральних електричних мереж. Монографія. <https://doi.org/10.36074/ztzpermmrmonograph.2021>
- [6] Тугай, Ю., Кучанський, В., Тугай, І. (2021). Застосування керованих пристроїв компенсації зарядної потужності ЛЕП НВН в електричних мережах. Технічна електродинаміка, (1), 53.
- [7] Зайцев Є., Кучанський В., Гунько І. Підвищення експлуатаційної надійності та ефективності роботи електричних мереж та електроустановок. Вінниця: ГО «Європейська наукова платформа», 2021. 156 с. DOI: <https://doi.org/10.36074/penereme-monograph.2021>

Кучанський Владислав Володимирович — канд. техн. наук, старш. наук. співр. старш. дослідник. відділу оптимізації систем електропостачання, e-mail: kuchanskiyvladislav@gmail.com;

Тугай Юрій Іванович — д.т.н., с.н.с, завідувач відділу оптимізації систем електропостачання;

Тугай Ірина Юріївна — канд. техн. наук, старш. наук. співробітник відділу оптимізації систем електропостачання.

V. V. Kuchansky
Yu.I. Tugai,
I.Yu. Tugai

Reactive Power Compensation Of Main Electrical Networks In Accordance With The Requirements Of Modern International Standards

¹National Academy of Sciences of Ukraine Institute of Electrodynamics, Kyiv;

The main requirements for compensation of reactive power in ultra-high voltage alternating current power transmission systems are outlined. A block diagram of reactive power compensation planning by controlled shunt reactors and static synchronous compensators is given.

Keywords: reactive power compensation, controlled shunt reactor, international electrotechnical commission, ultra-high voltage alternating current systems

Kuchansky Vladyslav Volodymyrovych — Candidate of technical science, senior researcher, doctoral student of the Department of power-supply systems optimization, e-mail: kuchanskiyvladislav@gmail.com;

Tugai Yuriy Ivanovich — Doctor of technical science, docent Head of the Department Department of power-supply systems optimization;

Tugai Irina Yurevna — Candidate of technical science, senior researcher of the Department of power-supply systems optimization/