

## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

**Коваль А.А., студент, Троценко Є.О., доц., к.т.н.**

*НТУУ «КПІ», кафедра техніки і електрофізики високих напруг*

**Вступ.** В останні роки у світі знову відновився інтерес до передачі електричної енергії на постійному струмі. В електропередачах постійного струму відсутні багато факторів, які є характерними електропередачам змінного струму та обмежують пропускну здатність. Переваги електропередач постійного струму підтверджується прикладами використання по всьому світі.

**Мета роботи.** На основі огляду літературних джерел проаналізувати перспективи розвитку електропередач постійного струму в сучасному світі.

**Матеріали і результати досліджень.** Технологія передачі електричної енергії на постійному струмі не нова і була відома ще на початковому етапі розвитку електроенергетики, коли відбувалась боротьба між прихильником постійного струму Томасом Едісоном та прихильниками змінного струму Джорджем Вестінгаузом та Ніколою Тесла. Тоді у цій конкурентній боротьбі, як відомо, перемогли останні, і дотепер у світі для виробництва електричної енергії, передачі її на відстань та споживання використовується в основному змінний струм.

Обмеженість впровадження електропередач постійного струму була пов'язана головним чином з технічними труднощами створення недорогих статичних перетворювачів, яка була усунена тільки в другій половині 20 століття з появою високовольтних тиристорів та біполярних транзисторів з ізольованим затвором. Відтоді постійний струм став використовуватися тільки для передачі електричної енергії, а її виробництво і розподілення залишається на змінному струмі. Потужні статичні перетворювачі використовуються як випрямлячі та інвертори. Випрямляч установлюється на початку передачі для перетворення змінного струму в постійний, а інвертор установлюється на її кінці для зворотного перетворення постійного струму в змінний.

Вартість перетворювальних підстанцій на постійному струмі вище вартості підстанцій на змінному струмі, але вартість лінії постійного струму нижче вартості лінії змінного струму за рахунок меншої кількості проводів, ізоляторів, лінійної арматури, більш легких опор, тощо [1].

В системах змінного струму існує проблема стійкості синхронної роботи декількох енергосистем, об'єднаних міжсистемними зв'язками. Масштабні каскадні відключення електроенергії в різних країнах світу неодноразово демонстрували вразливість великих енергосистем змінного струму. Варто лише згадати найбільшу в історії світової електроенергетики аварію з розпадом енергосистем, яка відбулася 14 серпня 2003 року в об'єднаних енергосистемах США та Канади та залишила без світла близько 50 млн. людей [2, 3]. За допомогою електропередач та вставок постійного струму здійснюється несинхронний зв'язок між енергосистемами, що забезпечує можливість, незалежного регулювання частоти в кожній з них. Порушення режиму (короткі

замикання, скидання потужності, різке зростання навантаження) в одній з об'єднаних енергосистем практично не позначаються на роботі іншої.

Головним недоліком кабелів змінного струму є обмеження пропускної здатності внаслідок зарядної потужності, яка зростає зі збільшенням напруги і перетину жили кабелю швидше, ніж теплова межа передаваної потужності. Для кабелів змінного струму існує поняття критичної довжини кабелю, при якій зарядна потужність кабелю дорівнює його тепловій межі. При цьому допустиме навантаження дорівнює нулю, оскільки потужність може йти тільки на втрати, пов'язані з його зарядкою [4]. Критична довжина кабелів змінного струму в залежності від їх типу може варіюватися в межах декількох десятків кілометрів. На постійному струмі на зарядку ємності кабелю витрачається потужність тільки при його вмиканні. Поняття критичної довжини кабелю на постійному струмі відсутнє [4]. Тому застосування електропередач постійного струму з підводним кабелем не має альтернативи при передачі електроенергії через широкі водянні перешкоди.

Інтерес до електропередач постійного струму підтверджується швидкими темпами їх будівництва в таких країнах, як Індія та Китай, що мають великі відстані між місцями споживання і виробництва електричної енергії. Наприклад, в Китаї вже побудовані і будуються нові лінії електропередачі постійного струму надвисокої та ультрависокої напруги для передачі електричної енергії на значні відстані від великих гідро- і вітрових електростанцій [5].

Але і в Європі в останні роки спостерігається тенденція до інтегрування міжнародних енергосистем для одержання додаткових ефектів від їхньої спільної роботи і для рівноправної участі виробників і споживачів електроенергії на міжнародному ринку [6]. Передбачається, що до 2050 року доля електроенергії, яка буде споживатися в Європі від поновлюваних джерел енергії досягне майже 100% [7]. При цьому передачам постійного струму відведена головна роль у тому числі і в силу географічних причин – для інтеграції в енергосистему великих вітрових електростанцій, розташованих в Північному морі [7], а також передачі електроенергії від великих сонячних електростанцій, розташованих в Північній Африці [8].

Деякі дослідники [6] вважають такі масштаби будівництва першим кроком до створення майбутньої глобальної мережі надвисокої напруги, або супермережі (supergrid), як її називають в англійській літературі. Концепція глобальної супермережі передбачає об'єднання всіх мереж, розташованих на різних континентах за допомогою підводних кабельних ліній [6]. Це виведе енергетику ряду країн на принципово новий рівень. Деякі приклади можна побачити вже майже поруч.

Ряд країн колишнього Радянського Союзу, серед яких Литва, Латвія, Естонія залежать від електроенергетичної системи Росії. Країни Балтії планують найближчим чином звільнитися від цієї залежності, побудувавши власні лінії постійного струму, які стануть спочатку частиною енергосистеми Європи [9], а згодом і глобальної супермережі [6]. Нова мережа буде включати в себе дві високовольтні лінії постійного струму, які з'єднають Литву зі

Швецією та Польщею: 1) наземна повітряна лінія LitPol потужністю 500 МВт (між Литвою та Польщею) та 2) підводна кабельна лінія NordBalt потужністю 700 МВт (між Литвою та Швецією) [9]. Остання є найдовшою підводною кабельною лінією в світі, її довжина складає 453 км. Необхідно зазначити, що дві підводні кабельні лінії Estlink сумарною потужністю 1000 МВт вже з'єднують Фінляндію та Естонію [9]. Не зважаючи на те, що частина зв'язків ще не добудована, залежність Литви від Росії вже зменшується. Майбутні енергетичні контракти Литви на 20% зменшують фінансові витрати у порівнянні з 2014 роком, оскільки в Європі є джерела дешевшої енергії [9]. Десинхронізація мережі змінного струму з мережею Росії та її синхронізація з мережею Європи очікується пізніше.

**Висновки:** У світовій практиці поки найбільш поширеною є передача електроенергії на змінному струмі. Але потужність, яку можна передати по таких лініях, особливо на великі відстані, обмежується граничною потужністю за умовами стійкості, за нагріванням проводів, втратами на корону та іншими факторами. Це обумовлює розвиток електропередач постійного струму в усьому світі, зокрема і в Європі. Для більш детального аналізу в цій роботі були обрані близькі та схожі до України країни Балтії. Показано переваги які отримують країни Балтії від розвитку електропередач постійного струму. Узагальнюючи можна зазначити, що в сучасному світі розвиток електропередач постійного струму є таким же неминучим, як і розвиток відновлюваних джерел енергії. Тому активізувати ці роботи потрібно і в Україні.

#### Перелік посилань

1. Hingorani N.G. High-voltage DC transmission: a power electronics workhorse" // IEEE Spectrum. – 1996. – vol. 33. – no. 4. – pp. 63-72.
2. Andersson G., Donalek P., Farmer R., Hatziaegyriou N., Kamwa I., Kundur P., Martins N., Paserba J., Pourbeik P., Sanchez-Gasca J., Schulz R., Stankovic A., Taylor C., Vittal V. Causes of the 2003 major grid blackouts in North America and Europe, and recommended means to improve system dynamic performance // IEEE Transactions on power systems. – 2005. – vol. 20. – no. 4. – pp. 1922-1928.
3. Dagle J.E. Data management issues associated with the August 14, 2003 blackout investigation // IEEE Power engineering society general meeting. – 2004. – vol. 2. – pp. 1680-1684.
4. Веников В.А., Худяков В.В., Анисимова Н.Д. Электрические системы. Т. 3. Передача энергии переменным и постоянным током высокого напряжения. Под ред. В.А. Веникова. Учебн. пособие для электроэнерг. вузов. – М.: "Высш. школа". – 1972. – 368 С.
5. Lou S., Hou T., Wu Y., Cui Y. Optimizing HVDC transmission for large-scale wind power base in China // IEEE Power and energy society general meeting. – 2013. – pp. 1-5.
6. Gellings C.W. A globe-spanning supergrid // IEEE Spectrum. – 2015. – vol. 52. – no. 8. – pp. 48-54.
7. Haileselassie T.M., Uhlen K. Power system security in a meshed North Sea HVDC grid // Proceedings of the IEEE. – 2013. – vol. 101. – no. 4. – pp. 978-990.
8. Bohn S., Agsten M., Marten A.-K., Westermann D., Boie I., Ragwitz M. A pan-European-North African HVDC grid for bulk energy transmission – a model-based analysis // IEEE/PES T&D Conference and exposition. – 2014. – pp. 1-5.
9. Fairley P. The great Baltic disconnect // IEEE Spectrum. – 2015. – vol. 52. – no. 9. – pp. 11-13.