ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ КЕРОВАНИХ САМОКОМПЕНСУЮЧИХ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЛЕП

Хоменко О.В., к.т.н., доцент, Онуфрей В.О., магістрант
НТУУ «КПІ», кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. Значне зростання споживання електричної енергії у промисловій і в соціальній сферах вимагає подальшого збільшення обсягів вироблення і передачі електроенергії споживачам, розвитку електроенергетичних систем, будівництва нових генеруючих джерел, розподільчих, транспортних і міжсистемних ліній електропередачі. До об’єктів електромереж і в першу чергу до ліній електропередач (ЛЕП) висуваються нові вимоги до підвищення їх пропускної здатності.

Метою роботи є стислий огляд способів підвищення пропускної здатності електропередач, теоретичних засад та конструктивних і експлуатаційних рішень застосування керованих самокомпенсуючих високовольтних ЛЕП (КСВЛ).

Матеріали дослідження. У сучасних умовах найважливішими завданнями стають: максимальне підвищення пропускної здатності ЛЕП, збільшення керованості і стійкості енергосистем, створення паралельно працюючих керованих енергетичних об'єднань з необхідністю забезпечення енергетичної та екологічної безпеки і зменшення відчужуваних під енергетичні об'єкти земельних угідь [1].

Під пропускною здатністю лінії електропередачі розуміють найбільшу активну потужність, яку з урахуванням всіх технічних обмежень можна передати по лінії. Пропускна здатність лінії електропередачі залежить від напруги, сили струму і реактивного опору лінії. Максимально передана потужність визначається за формулою:

$$P_{\text{max}} = \frac{U_1 U_2}{Z_x \sin \alpha_0 L} \qquad (1)$$

де U_1, U_2 – модулі напруги на початку і в кінці лінії; Z_x – хвильовий опір лінії; $\alpha_0 L$ – хвильова довжина лінії [2].

Основними способами підвищення пропускної здатності ЛЕП є підвищення напруги лінії, збільшення перерізу проводів, підвищення навантаження лінії з урахуванням погодних умов, збільшення навантаження за рахунок підвищення допустимої температури проводів тощо [3].

Одним із нових ефективних методів підвищення пропускної здатності є застосування КСВЛ. Сутність їх полягає у тому, що в них зближені між собою трифазні ланцюги (шляхом попарного зближення фаз різних ланцюгів на мінімально допустимі по електричній міцності відстані), і між системами векторів напруг ланцюгів створений кутовий зсув (120 або 180°) з можливістю його регулювання до 0°. Для опису процесів що відбуваються в них,

проведення розрахунків режимів і вибору основних технічних рішень для них, застосовуються існуючі основи теорії електропередач змінного струму. Разом з тим КСВЛ мають свої особливості і відмінності, що потребує виконання для них додаткових розробок нових методик розрахунку і нових підходів до вибору основних схем, конструкції і апаратного оснащення.

Відомо, що векторні величини - напруженість електричного (Е) і магнітного (Н) полів визначають потік потужності в електромагнітному полі (П):

$$\Pi = \mathrm{E} \times \mathrm{H} \tag{2}$$

Грунтуючись на загальній теорії електромагнітного поля, рівняння потоку для багатопровідної КСВЛ буде мати наступний вигляд:

$$-\Pi_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n} \sigma_{inp} E_{inp}^2 \pi r_0^2 l - j \frac{\omega l}{\varepsilon \varepsilon_0 2\pi} \sum_{i=1}^{n} q_i^2 \ln \frac{R_1}{r_0} + j \frac{\omega l \mu \mu_0}{2\pi} \sum_{i=1}^{n} I_i^2 \ln \frac{R_1}{r_0} \tag{3}$$

$$-\Pi_{\Sigma} = P_{\theta\Sigma} - jQ_{C\Sigma} + jQ_{L\Sigma} \tag{4}$$

де: E_{inp}– поздовжня складова напруженості електричного поля в середині і-го проводу; σ_{inp} – питома електрична провідність проводу; r_0 – радіус проводу; ωl – швидкість поширення електромагнітної хвилі, м/с, тут l – розмірність м/рад; ε – відносна електрична проникність середовища; μ – відносна магнітна проникність; q_i – заряд і-го проводу; R_1 – радіус деякого циліндра, поверхня якого обмежує обсяг простору навколо дроту, в якому відбувається зміна енергії поля; I_i– струм в і-тому дроті; n – число проводів (фаз) лінії; $P_{\theta\Sigma}$ – сумарні теплові втрати в проводах лінії; $Q_{C\Sigma}$ – сумарна потужність електричного поля лінії; $Q_{L\Sigma}$ – сумарна потужність магнітного поля лінії. Потужності магнітного та електричного полів мають зворотні знаки, що свідчить про їх обмінний характер.

Для режиму натуральної потужності, коли зарядна потужність дорівнює втратам реактивної потужності, тобто для випадку КСВЛ, має місце рівність:

$$\left|-jQ_{C\Sigma}\right| = \left|jQ_{L\Sigma}\right| \tag{5}$$

З виразів (3, 4) за умови (5), вираз натуральної передаваємої потужності багатопровідних лінії має вид:

$$P_{\text{н}} = v * U \sum_{i=1}^{n} q_i \cos(\gamma_i - \alpha_i) \tag{6}$$

де v – швидкість поширення електромагнітної хвилі; γ_i, α_i – аргументи напруги (U_i) і струму (I_i), котрі і дають змогу змінювати об’єм натуральної потужності в лінії в залежності від фазового зсуву.

Фазовий зсув систем напруг U_i ланцюгів (наприклад 0° і 120°) досягається за допомогою вибору відповідних схем приєднання до шин підстанцій, або шляхом установки засобів фазового регулювання, які до того ж можуть забезпечити управління потоками потужності в замкнутих контурах мережі. Їхній принцип зміни параметрів базується на рівності:

$$x_e = x_i + x_m(\beta) \quad (7)$$

де: x_i– опір кожного проводу без врахування взаємоіндукції; x_m – опір, що визначається взаємною індуктивністю двох ланцюгів; β – кут зсуву між струмами (магнітними потоками) кожного ланцюга.

Коли кут β становить 180° і вище, то рівняння (7) набуває вигляду:

$$x_e = x_i - x_m(\beta) \quad (8)$$

Таким чином, в залежності від β, значення еквівалентного індуктивного опору буде змінюватися, змінюючи при цьому і загальний хвильовий опір лінії у будь-якому режимі.

КСВЛ у поєднанні з пристроями FACTS в порівнянні з ПЛ традиційної конструкції дозволяють знизити сумарні витрати на 10-20% у розрахунку на одиницю переданої потужності, значно підвищити пропускну здатність; здійснювати перерозподіл потоків активної та реактивної потужності; підвищити ефективність використання пристроїв регулювання реактивної потужності. На даний момент КСВЛ широко використовуються в Молдавській енергосистемі, наприклад: дволанцюгова КСВЛ-330 кВ “Бэлць – Стрэшень – Кишинэу”, а також одноланцюгова КСВЛ-330 кВ “Кишинэу – Вулкэнешть” [4].

Висновки: одним із сучасних способів підвищення пропускної здатності електричних мереж є застосування КСВЛ. Пропускна здатність збільшується за рахунок зменшення відстаней між фазами і ефекту самокомпенсації параметрів електромагнітного поля одного ланцюга полем другого ланцюга. Також таке виконання дозволяє відмовитися від застосування додаткового землевідводу. При цьому збільшується вартість КСВЛ через складності виконання опор та застосування композитних матеріалів в лініях.

Перелік посилань

1. Управляемые линии электропередачи / Ю.Н. Астахов, В.М. Постолатий, И.Т. Комендант, Г.В. Чалый. Под ред. В.А. Веникова. - Кишинев: Штиинца, 1984. - 296 с.

2. Электропередача переменного тока / Постолатий В.М., Веников В.А., Астахов Ю.Н., Чалый Г.В., Калинин Л.П. Патент США № 4001672, 1977; Патент ГДР № 116990, 1976.

3. Pramayon P., Catchpole P., Guerard S. et al. (WG B2/C1.19 CIGRE) Increasing capacities of overhead lines needs and solutions. Потребность и возможности повышения пропускной способности ВЛ. Доклад СИГРЭ В2-108, 2008 г. – С. 37–41.

4. Методические подходы к выбору вариантов линий электропередачи нового поколения на примере ВЛ-220 кВ / В. М. Постолатий, Е. В. Быкова, В. М. Суслов, Ю. Г. Шакарян, Л. В. Тимашова, С. Н. Карева // Problemele energeticii regionale. - 2010.