

РЕАКТИВНА ПОТУЖНОСТЬ В СУЧАСНИХ СИСТЕМАХ ВИСОКОЇ НАПРУГИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Білик А.В., аспірант, Кирик В.В., д.т.н., проф.

НТУУ «КПІ», кафедра електричних систем та мереж

Вступ. Впровадження електропередач (ППС) і вставок постійного струму (ВПС) тривалий час стримувалося низькою надійністю перетворювальних пристроїв. Однак за останні роки значно підвищилась надійність роботи обладнання випрямних і інверторних підстанцій, а саме: високовольтичних тиристорних і транзисторних вентилів, перетворювальних трансформаторів, фільтро-компенсуючих пристроїв, систем охолодження вентилів; апаратури управління і захисту, виконаної із застосуванням інтегральних мікросхем. Практичний досвід експлуатації показав, що коефіцієнт енергетичної готовності сучасних перетворювальних підстанцій досягає 98-99% [1].

Останні проекти доводять, що технології передачі на базі перетворювачів напруги на повністю керованих напівпровідниках (ПН ПКН) досягли значних успіхів, як для застосування в галузі високої напруги постійного струму (ВНПС) так і для підвищення продуктивності передачі змінного струму за рахунок використання нових FACTS пристроїв [2].

Мета роботи. Вивчення і аналіз питань пов'язаних з реактивною потужністю в сучасних системах ВНПС на базі перетворювачів напруги на повністю комутуваних напівпровідниках.

Матеріали і результати досліджень.

Технології, що ґрунтуються на використанні ПН ПКН долають більшість недоліків класичних систем ВНПС. Крім того ПН ПКН здатні як генерувати, так і споживати реактивну потужність підтримуючи тим самим стійку роботу систем змінного струму.

Реактивна потужність є невід'ємною складовою всіх систем змінного струму. Вона виникає із-за наявності паразитної ємності і індуктивності в усіх елементах енергосистеми. Вплив реактивної потужності проявляється при наявності фазового кута між напругою і струмом. Із-за прямого впливу реактивної потужності на рівні напруг в мережі змінного струму, на її значення завжди накладаються певні обмеження.

Власне перетворювачі, які застосовуються на перетворювальних підстанціях систем ВНПС, працюючи в режимі випрямляча, є споживачами реактивної потужності, оскільки вони працюють з таким кутом керування α , при якому вектор струму відстає від вектору напруги. Крім того, опір перетворювального трансформатора разом з невеликим опором вентиля вводить додаткову похибку в відставання струму, яка визначається, як кут перекриття μ .

Робота перетворювача, який працює з кутом перекриття μ є функцією від робочого струму і реактивного опору витoku перетворювального трансформатора:

$$\mu = \cos^{-1}(\cos(\delta) - \frac{I_d}{I_{d_0}} \times \chi_p) - \delta, \quad (1)$$

де, μ - кут перекриття перетворювача (рад); I_d - робочий струм перетворювача (в.о.); I_{d_0} - номінальний струм перетворювача (в.о.); χ_p - реактивний опір витoku перетворювального трансформатора (в.о.); δ - кут керування перетворювача.

Враховуючи значення кута перекриття і кута керування наближено можна визначити коефіцієнт потужності перетворювача, як:

$$\cos(\varphi) = \frac{1}{2} \times [\cos(\delta) + \cos(\delta + \mu)], \quad (2)$$

Таким чином, реактивну потужність, яку генерує (споживає) перетворювач напруги наближено можна описати таким виразом:

$$Q_{DC} = \tan[\cos^{-1}(\varphi)] \times P_{DC}, \quad (3)$$

де, $\cos(\varphi)$ - коефіцієнт потужності перетворювача; P_{DC} - активна потужність, що протікає через перетворювач (в.о.).

Реактивна споживана потужність СПН при номінальному навантаженні може бути апроксимована наступним чином:

$$Q_{DC_0} = \tan[\cos^{-1}(\cos(\delta) - \frac{\chi_p}{2})], \quad (4)$$

де, Q_{DC_0} - споживана реактивна потужність перетворювачем при номінальному його завантаженні (в.о.)

Перетворювальні підстанції ВНПС в процесі їх роботи генерують гармоніки. Вихідна напруга змінного струму містить гармонійні складові, що виникають в процесі високочастотної комутації. Ці гармоніки несуть негативний вплив і необхідно захищати мережу змінної напруги від їх попадання. Гармоніки можуть призвести до збоїв роботи обладнання змінного струму, радіо і телекомунікаційних порушень. Відповідно, для усунення шкідливих гармонійних складових на перетворювальних підстанціях з обох сторін встановлюються шунтувальні високочастотні фільтри.

З виразу (3) видно, що рівень реактивної потужності перетворювача залежить від його навантаження, при цьому варто відмітити, що її знак може бути, як позитивним так і негативним. В свою чергу, фільтри які підключаються до систем ВНПС виконуються секціонованими за їх потужністю і при включенні статично генерують певну реактивну потужність в систему. Тому, для того, щоб задовольнити умови нормальної роботи, окремі групи фільтрів повинні бути зкомутовані при відповідному завантаженні систем ВНПС. Такий підхід відомий, як контроль за *розімкнутим циклом*, рис. 1.

Точки включення віток фільтра (А,В,С, рис.1) визначаються експериментально в залежності від його параметрів. Однак керуючий вплив на

перетворювач може бути використаний для зміни обміну реактивною потужністю з системою змінного струму.

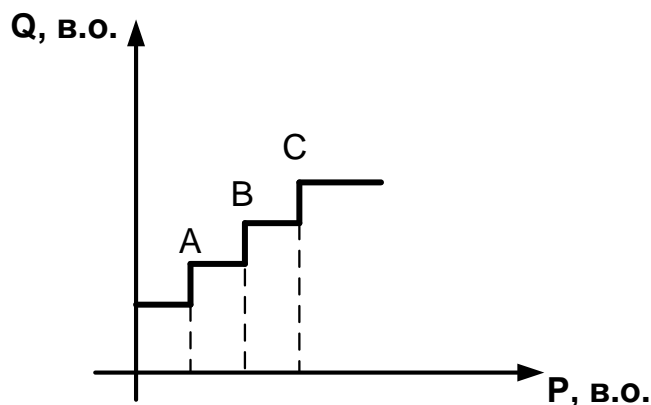


Рисунок 1 – Комутація фільтра в залежності від зміни навантаження

У системи ВНПС активна потужність визначається як добуток постійної напруги на постійний струм. Таким чином, при заданому постійному рівні потужності P_{DC} , напруга U_{DC} постійного струму може бути зменшена за рахунок збільшення струму I_{DC} . Отже, якщо кількість включених фільтрів змінного струму перевищує необхідні границі по реактивній потужності, параметри керуючих сигналів перетворююча можуть бути змінені, для того щоб збільшити споживану реактивну потужність ПН ПКН, в результаті чого встановлюється бажаний баланс потужностей між перетворювальною підстанцією і системою змінного струму.

Висновки: Відомою перевагою систем постійного струму над системами змінного є відсутність реактивної потужності при передачі електроенергії. Однак питання реактивної потужності в системах високої напруги постійного струму безпосередньо і тісно пов'язані з їх експлуатацією.

З аналізу видно, що використання сучасних перетворювачів напруги, керування якими здійснюється за рахунок широтно-імпульсної модуляції, спрощує умови реактивного балансу за рахунок здатності швидкого і незалежного керування потоками як активної, так і реактивної потужності.

Необхідно наголосити на тому, що питання реактивного балансу перетворювача опосередковано пов'язане з нормальними умовами його роботи. Останнє в свою чергу являється однією з ключових проблем в експлуатації систем ВНПС.

Перелік посилань

1. V. G. Agelidis, G. D. Demetriades, and N. Flourentzou, "Recent advances in high-voltage direct-current power transmission systems," in Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Technol. (ICIT 2006), pp. 206–213.
2. M. P. Bahrman and B. K. Johnson, "The ABCs of HVDC transmission technologies," IEEE Power Energy Mag., vol. 5, no. 2, pp. 32–44, Mar./Apr. 2007.