

РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ, МЕРЕЖІ ТА КЕРУВАННЯ НИМИ

КОМПЕНСАЦІЯ ЗАРЯДНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДАЛЬНІХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

Новіков К.М., аспірант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем

Вступ. Електричні мережі надвисокої напруги є основою формування енергосистем, оскільки використовуються для видачі потужності від великих електростанцій та з'єднання окремих електроенергетичних систем і характеризуються значною довжиною повітряних ліній (ПЛ) електропередач, великими навантаженнями і потоками потужності по лініям електропередач.

Передача надвисокої напруги (НВН) має багато переваг для нових мереж електропостачання через її пропускну здатність, велику відстань, високу ефективність і низькі втрати.

Однією з проблем, з якою стикаються при проектуванні та експлуатації ліній електропередач НВН, є висока зарядна потужність і перетоки реактивної потужності [1].

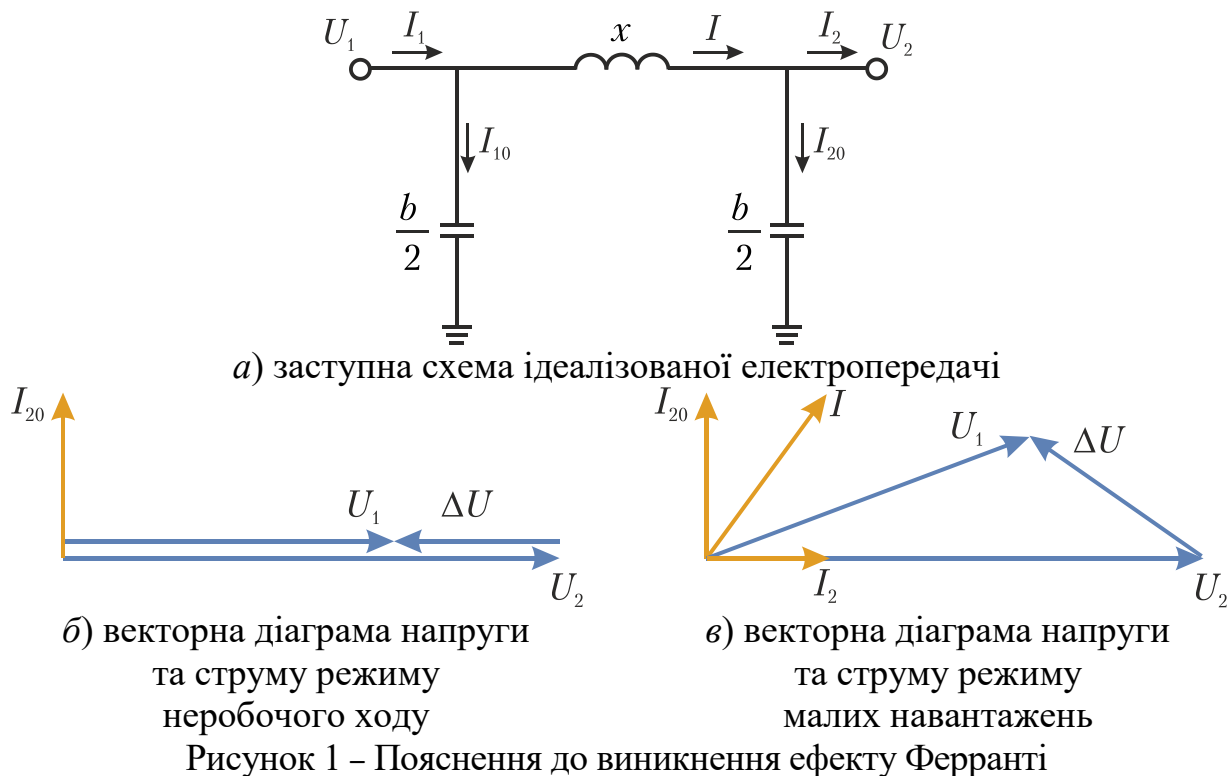
Мета роботи: знайдення найкращого рішення для компенсації зарядної потужності в дальніх лініях електропередач.

Результати досліджень: Відомо, що експлуатаційні характеристики робочих режимів магістральних електричних мереж значною мірою визначаються надвеликими зарядними струмами ліній електропередавання надвисокої номінальної напруги, протікання яких обумовлює виникнення ефекту Ферранті – збільшення рівня напруги ближче до кінця електропередачі. Як наслідок, у певних режимах електропередачі енергія передається від вузла з меншою напругою до вузла з більшою напругою. Слід зважати на певні особливості виникнення ефекту Ферранті в дальніх електропередачах, де зарядні потужності лінії розподіляються між вузловими підстанціями на початку та наприкінці лінії, що обумовлює збільшення напруги в проміжних точках електропередачі та виникнення «горба» профілю розподілу напруги вздовж лінії. Вочевидь, найбільше зростання напруги внаслідок прояву ефекту Ферранті має місце в режимах малих навантажень, коли зарядна потужність лінії не скомпенсована індуктивними втратами, обумовленими робочими струмами лінії.

Виникнення ефекту Ферранті можна показати на прикладі аналізу векторної діаграми напруги та струму «П»-подібної заступної схеми ідеалізованої лінії електропередавання в режимах неробочого ходу та малих навантажень, представленої на рисунку 1.

При здійсненні неробочих режимів дальніх електропередач виникає ряд труднощів. Зарядна потужність лінії може значно перевищувати номінальну потужність генератора, що підключається до передачі, що призведе до

неприпустимого його перевантаження. З наявністю великої зарядної потужності пов'язане і підвищення напруги на лінії електропередачі.



Так, напруга в кінці лінії, що працює на неробочому ходу при неповній компенсації її зарядної потужності, значно перевищує напругу на початку передачі. Отже, для здійснення синхронізації віддаленої станції і прийомної системи звичайними методами необхідно знижувати напругу на початку передачі або встановлювати пристрої, що компенсують на її кінці.

Зниження ж напруги на початку далекої електропередачі може ускладнюватися самозбудженням генераторів.

Повітряні лінії із близькою до 100% компенсацією зарядної потужності мають істотні недоліки:

- можливість пошкодження вимикачів ПЛ аперіодичними струмами;
- можливість резонансних перенапруг на вимкненій від мережі фазі ПЛ у неповнофазних режимах.

Оснащення ліній електропередач резисторами, блоками керованої комутації, «нейтральними» реакторами збільшує їх вартість та ускладнює експлуатацію. Однак гірше інше: назване обладнання просто неефективне, якщо воно застосовується на лініях із близькою до 80–120% компенсацією зарядної потужності.

Тобто, не варто прагнути до 100% компенсації зарядної потужності ПЛ, а слід вдаватися до компенсації, приблизно на 60–70%.

Наприклад, саме такий ступінь вказано в роботі [2]: «...для забезпечення прийнятних напруг у режимах малих навантажень у мережах 330-750 кВ необхідна установка реакторів, які компенсують 60–80% зарядної потужності лінії». Отже, для ліній електропередач НВН важливою характеристикою є коефіцієнт компенсації зарядної потужності лінії.

Часткова компенсація сумарної ємнісної провідності довгої лінії можлива за допомогою шунтувальних реакторів (ШР). Вона необхідна для забезпечення нормальних умов роботи передачі в режимах неробочого ходу і малих навантажень, а також при підйомі напруги з нуля.

Потужність реакторів на лініях передач змінного струму зазвичай визначається з умов роботи в режимах неробочого ходу. Для забезпечення бажаного розподілу напруги уздовж лінії реактори доцільно розміщувати рівномірно. Однак одинична вартість пристроїв, що компенсують, різко збільшується при зменшенні їх потужності, крім того, компенсуючі пристрої вимагають для свого приєднання коштовного устаткування. Все це виключає можливість рівномірно розподіленої компенсації і реактори зазвичай встановлюються на підстанціях або перемикальних пунктах.

Наявність реактора в контурі компенсації зменшує реактивну потужність, однак унеможлиблює виникнення резонансних явищ і при певному налаштуванні на частоту, близьку до резонансної, сприяє зменшенню обраної гармонійної складової (найчастіше третьої).

Питання компенсації реактивної потужності пов'язані також з проблемами її транспортування.

Наслідки транспортування реактивної потужності наведені на рисунку 2.

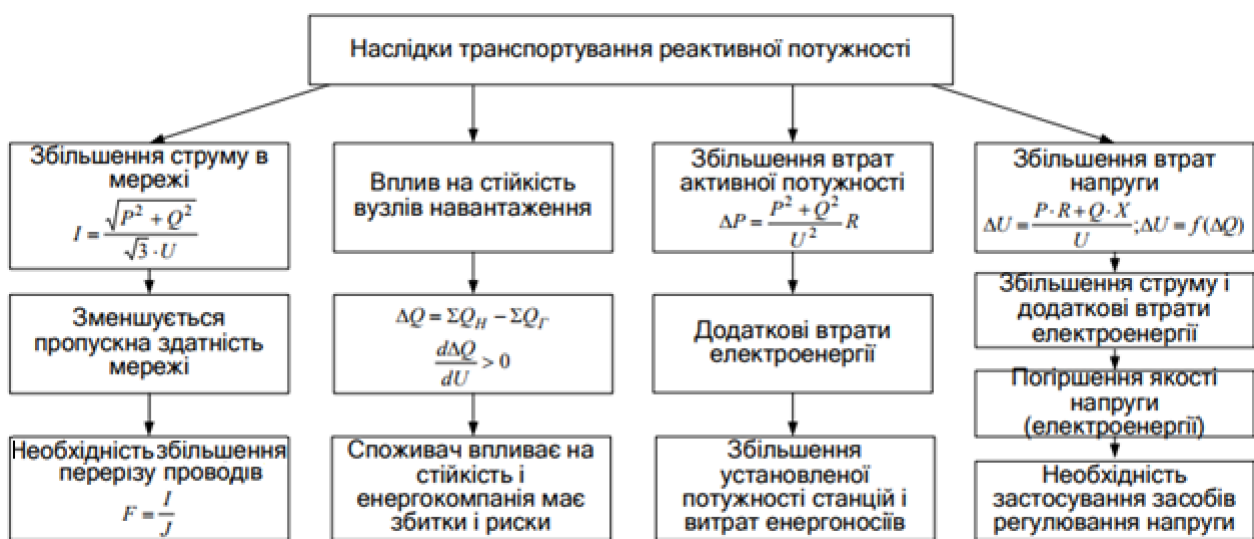


Рисунок 2 – Наслідки транспортування реактивної потужності

Отже слід говорити тільки про надлишковість реактивної потужності під час її транспортування від джерел до споживачів і наслідки, до яких ця надлишковість призводить.

Шунтувальні реактори використовуються в системах передачі енергії високої напруги для управління напругою при зміні навантаження. Залежно від вимог до напруги шунтувальні реактори включаються або вимикаються для компенсації реактивної потужності. Шунтувальні реактори, як елемент електроенергетичної системи, зазвичай з'являються на підстанціях або лініях електропередач класів напруги 330 кВ і вище.

Основним призначенням ШР є зниження до допустимого рівня напруги на відкритому кінці повітряної лінії (ПЛ) при їх односторонньому включенні на

шини мережі живлення (це може бути електрична станція або підстанція). Такий реактор встановлюють на лінії та називають лінійним.

Друга мета установки ШР - обмеження так званого "стоку" надлишкової реактивної потужності з ПЛ в мережу, що примикає до лінії. Такий реактор встановлюють на шинах підстанції (станції) та називають підстанційним (станційним). Слід зазначити, що стік реактивної потужності небезпечний саме для генераторів електричної станції, і виробники генераторів (зазвичай турбогенераторів) жорстко обмежують найбільше допустиме значення споживаної генератором реактивної потужності. Однак і стік реактивної потужності в звичайну мережу, зокрема мережу нижчої напруги, також може становити небезпеку через неприпустиме підвищення напруги.

Третє призначення ШР - зниження величини квазістаціонарних (тимчасових) перенапруг і енергії комутаційних перенапруг до рівнів, допустимих для роботи встановлених на лінії обмежувачів перенапруги, які не завжди мають достатній запас за напругою.

Лінійні та підстанційні (станційні) реактори необхідні, перш за все, в режимах малої потужності, що передається по лініях, або на неробочому ході цих ліній. У міру збільшення переданої по лінії активної потужності реактивна потужність, що виробляється ємністю лінії, все більше споживається в її позовжній індуктивності, і, отже, знижується необхідність у шунтувальних реакторах, як додаткових споживачах реактивної потужності, встановлених по кінцях лінії або на шинах, що примикають до лінії підстанцій (станцій).

Режим передачі активної потужності по лінії, при якому вся реактивна потужність, що виробляється ємністю лінії споживається в позовжній індуктивності лінії, називається режимом передачі натуральної потужності. У такому режимі немає жодної необхідності в реакторах, оскільки лінія збалансована по реактивній потужності, тобто не є ні її джерелом, ні споживачем. Якщо в режимах передачі потужності, близьких до натуральної, реактори залишаються приєднаними до лінії (або до шин) і продовжують споживати реактивну потужність (хоча вже немає в цьому необхідності), це призводить до зниження напруги на лінії, зниження її пропускної здатності і зростання втрат. Основним недоліком традиційних реакторів є проблема, пов'язана з низькою здатністю перемикачів. Запобігання перенапруженням робить необхідним включення реакторів незалежно від потужності, яка передається, що призводить до зниження пропускної здатності системи. Тому доцільніше використовувати керовані шунтувальні реактори (КШР).

Керований шунтувальний реактор є трансформаторним пристроєм, який додатково виконує функції напівпровідникового ключового пристрою.

КШР дозволяє:

- підтримувати напругу чи інші робочі параметри без використання високовольтних вимикачів та РПН трансформаторів;
- знизити втрати активної потужності та підвищити надійність функціонування електричних мереж;
- збільшити межу статичної стійкості, поліпшити демпфування в системі.

КШР трансформаторного виконання можна встановлювати в будь-якій частині енергосистеми і при цьому забезпечити стабілізацію напруги, оптимізацію перетоків реактивної потужності, підвищення пропускної спроможності електропередачі та плавне регулювання потужності.

Найбільше застосування на даний час отримали керовані підмагнічуванням магнітопроводу реактори (КПШР).

Для КПШР використовується принцип магнітного підсилювача, коли при застосуванні ділянок сталі магнітопроводу в різних діапазонах насичення, отримується великий діапазон плавного регулювання.

КШР може працювати в чотирьох основних режимах роботи, для яких приведені алгоритми функціонування.

Потужність реакторів, яка необхідна для підтримки номінальної напруги на відкритому кінці передачі, має значну величину і зростає зі збільшенням довжини лінії, перевищуючи потужність реакторів, доцільну за умовами економічної роботи передачі в нормальних режимах. Але, з метою підвищення надійності ліній електропередач слід по можливості знижувати число пристроїв, які додатково включаються. Таким чином, актуально впроваджувати керовані шунтувальні реактори для компенсації реактивної потужності дальніх ліній електропередач.

Висновки: Електричні мережі надвисокої номінальної напруги характеризуються значною довжиною, великими навантаженнями і перетоками потужності та є основою формування енергосистем. В режимах малих навантажень з великим зарядним струмом потрібно враховувати ефект Ферранті, який проявляється в тому, що електрична енергія може передаватись від вузла з меншою напругою до вузла з більшою напругою. Особливість ефекту Ферранті в дальніх електропередачах полягає в тому, що збільшений профіль напруги має місце в проміжних точках лінії. Жорсткі обмеження щодо допустимої перенапруги у вузлових та проміжних точках електропередачі, обмеження щодо балансу реактивної потужності в енергосистемах, суміжних з дальніми електропередачами визначають проблему компенсації надлишкової зарядної потужності ліній електропередавання надвисокої номінальної напруги за допомогою шунтувальних реакторів. Застосування шунтувальних реакторів обумовлює зниження пропускної здатності дальніх електропередач, що обмежує їх використання за умовами режимів максимальних навантажень. Негативний вплив шунтувальних реакторів на пропускну здатність лінії НВН, можна усунути застосуванням КШР, які є швидкодіючими і здатними пофазно регулювати режим реактивної потужності. Застосування КШР дозволяє плавно регулювати в великому діапазоні напругу та реактивну потужність, знижувати струм короткого замикання, зменшити час безструмової паузи.

Перелік посилань

1. Новіков К.М. Компенсація надлишкової зарядної потужності дальніх ліній електропередач за допомогою керованого шунтуючого реактора, Київ: НТУУ "КПІ", 2022, 106 с.
2. Справочник по проектированию электроэнергетических систем/ под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1985. – 155 с.