

АНАЛІЗ І ШЛЯХИ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ СПОЖИВАЧА 6 кВ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

Денисюк П.Л., к.т.н., доцент, Луговий Є.О., магістрант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлювальних джерел енергії

Вступ. Відхилення напруги характеризується показником усталеного відхилення напруги.

На вихід показника за межі норм впливають:

- добові, сезонні та технологічні зміни струмового навантаження;
- зміна потужності генераторів і пристроїв, що компенсують;
- зміна схеми і параметрів електричної мережі.

Відхилення напруги в будь-якому вузлі електричної мережі визначається за співвідношенням:

$$\delta U_y = \frac{U - U_{H \text{ мер.}}}{U_{H \text{ мер.}}} \cdot 100\%,$$

де U – напруга у вузлі мережі, де контролюється або розраховується δU_y , значення якого визначається з розрахунку усталеного режиму або визначається за показниками приладів.

Відхилення напруги відбуваються через неправильний вибір елементів мережі, нераціональне регулювання напруги шляхом перемикання отпайок у трансформатора, обмеженої потужності джерела живлення під дією ударних навантажень. Воно зумовлено повільними процесами зміни навантажень у системі, що справляють різний вплив на режим роботи окремих споживачів.

Відхилення напруги викликає найбільш несприятливі наслідки і завдає найбільшої матеріальної шкоди в порівнянні зі зміною інших показників якості електроенергії [1].

Крім того, змінюються ковзання, ККД, струм статора і ротора і т.д. Термін служби ізоляції двигуна при цьому скорочується вдвічі.

Збільшуються активні і реактивні втрати. Збільшення напруги на 1% збільшує споживану реактивну потужність на 3%. При установці АД в поточних лініях зміна напруги позначається на продуктивності і якості через зміну швидкості обертання двигуна.

Збільшення напруги різко скорочує термін служби освітлювальних приладів, так збільшення напруги всього на 5% скорочує термін служби вдвічі, а на 10% - в чотири рази.

Зменшення напруги різко скорочує світловий потік, тому що він пропорційний квадрату струму, що різко знижує комфортні умови і може викликати травматизм.

Електронні пристрої взагалі не допускають відхилення напруги, тому повинні забезпечуватись стабілізаторами.

Підвищення напруги впливає на режим мережі: зменшуються втрати потужності у повздовжніх елементах схем заміщення та зростають втрати потужності неробочого ходу. У мережах напругою 330 кВ і

вище зростають втрати активної потужності на корону [4].

Згідно з умовами роботи ізоляції мережі допускається підвищення напруги вище номінального значення для мережі:

- до 35 кВ не більш 20 %;
- 35-220 кВ не більш 15 %;
- 330 кВ не більш 10 %;
- вище 330 кВ не більш 5 %.

Мета роботи. Регулювання напруги споживача 6 кВ за допомогою компенсуючих пристроїв і аналіз мережі з та без компенсуючого пристрою.

Матеріали і результати досліджень. Одним із способів регулювання напруги в електричній мережі є зміна величини падіння або втрати напруги на елементах електричної мережі за допомогою зміни перетоків реактивної потужності.

Зміну перетоків реактивної потужності в мережах може бути досягнуто зміною видачі реактивної потужності синхронних генераторів на електростанціях. Однак такий принцип зміни реактивних перетоків часто вже не ефективний, так як призводить до завантаження мережі реактивною потужністю і, як наслідок, до збільшення втрат в мережі. Тому для зміни перетоків реактивної потужності з метою регулювання напруги в електричних мережах використовуються пристрої, що компенсують [2].

Компенсуючі пристрої призначені для вироблення або споживання реактивної потужності.

Для вироблення реактивної потужності використовуються: батареї статичних конденсаторів; статичні тиристорні компенсатори; синхронні компенсатори в перезбудженому режимі.

Для споживання реактивної потужності служать шунтуючі реактори (ШР) і синхронні компенсатори в недозбудженому режимі.

Синхронний компенсатор (СК) – синхронна явнопольсна машина, працює в режимі холостого ходу і призначена для генерації або споживання реактивної потужності. СК споживає з мережі невелику активну потужність, зумовлену власними втратами.

Позитивними властивостями СК як джерел реактивної потужності є: а) можливість збільшення генеруючої потужності при зниженні напруги в мережі внаслідок регулювання струму збудження; б) можливість плавного і автоматичного регулювання реактивної потужності.

Батареї статичних конденсаторів (БСК) застосовуються для генерації реактивної потужності в вузлах мережі і включаються на шинах понижених підстанцій (шунтові батареї). БСК збираються з окремих конденсаторів, з'єднаних послідовно і паралельно. Послідовне з'єднання конденсаторів дозволяє збільшити робочу напругу БСК, а паралельне - потужність БСК. [1]

Шунтуючі реактори можна застосовувати для регулювання реактивної потужності та напруги. Реактор - це статичний електромагнітний пристрій, призначений для використання його індуктивності в електричному ланцюзі.

Активний опір реактора дуже малий. Шунтуючі реактори розраховані на

напруги 35 ... 750 кВ і можуть як приєднуватися до лінії, так і включатися на шини підстанції.

Статичні тиристорні компенсатори (СТК) призначені для плавної (регульованої) генерації або споживання реактивної потужності, що досягається використанням в СТК нерегульованої батареї конденсаторів і включеного послідовно або паралельно з нею регульованого реактора.

Плавність регулювання реактивної потужності СТК досягається за допомогою тиристорного блоку, що входить в пристрій управління [4].

Як приклад визначимо необхідність установки, тип і потужність компенсуючого пристрою для забезпечення допустимих рівнів напруги у споживача. Схема заміщення мережі та її параметри наведені на рисунку 1, потужність навантаження задана в максимальному режимі. Навантаження в мінімальному режимі становить 0,6 від навантаження в максимальному, напруга у вузлі 1 $U_1 = 6,1$ кВ.

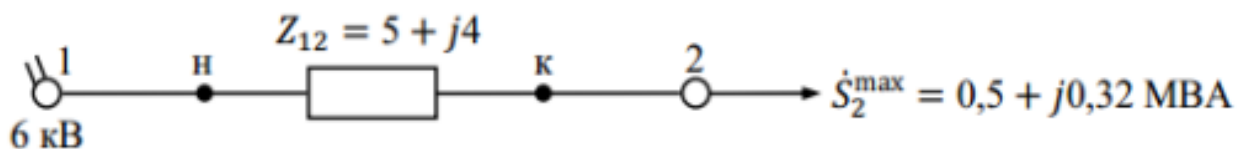


Рисунок 1 – Схема заміщення мережі

Для вибору потужності компенсуючого пристрою слід переконатися в його необхідності, для цього потрібно визначити напругу на шинах споживача і зіставити його з допустимими ГОСТ 13109-97 рівнями напруги, які в мережі 6 кВ в нормальних режимах відповідають діапазону від 6,3 до 5,7 кВ (+/-5%) [2].

Виконаємо розрахунок напруги в вузлі 2 з урахуванням втрат потужності в мережі.

Задамо початкове наближення напруги в вузлі 2, $U_2^0 = 5,7$ кВ. Потік потужності в кінці ділянки 1-2, $\dot{S}_{12}^k = \dot{S}_2^{max} = 0,5 + j0,32$ МВ·А, втрати потужності на ділянці 1-2:

$$\Delta \dot{S}_{12} = \frac{(P_{12}^k)^2 + (Q_{12}^k)^2}{(U_2^0)^2} Z_{12} = \frac{0,5^2 + 0,32^2}{5,7^2} (5 + j4) = 0,054 + j0,043 \text{ МВ·А,}$$

тоді

$$\dot{S}_{12}^H = \dot{S}_{12}^k + \Delta \dot{S}_{12} = 0,5 + j0,32 + 0,054 + j0,043 = 0,554 + j0,363 \text{ МВ·А.}$$

Тепер можна визначити напругу в вузлі 2. Втрата напруги в мережі 6 кВ обумовлена в основному поздовжньою складовою падіння напруги, тоді

$$\begin{aligned} U_2 &= U_1 - \Delta U_{12} = U_1 - \frac{P_{12}^H R_{12} + Q_{12}^H X_{12}}{U_1} = \\ &= 6 - \frac{0,554 \cdot 5 + 0,363 \cdot 4}{6} = 5,296 < 5,7 = U_{2 \text{ доп}}^{\min}. \end{aligned}$$

Таким чином, напруга у вузлі 2 не відповідає вимогам за якістю електроенергії на шинах споживача, отже, необхідна установка компенсуючого пристрою, що генерує реактивну потужність.

Визначимо мінімальну потужність компенсуючого пристрою $Q_{ку}^{min}$, що забезпечує зростання напруги у споживача:

$$\Delta U = U_{2\text{ доп}}^{min} - U_2 = 5,7 - 5,296 = 0,404 \text{ кВ},$$

$$Q_{ку}^{min} = \frac{\Delta U U_{ном}}{X} = \frac{0,404 \cdot 6}{4} = 0,606 \text{ Мвар}.$$

Економічно найбільш доцільним компенсуючим пристроєм, який забезпечують вимоги якості електроенергії в вузлі 2, є батарея статичних конденсаторів [3]. Для вибору стандартної потужності БСК необхідно знайдену мінімальну потужність компенсуючого пристрою $Q_{ку}^{min}$ привести до номінальної напруги батарей на класі напруги 6 кВ,

$$Q_{ку(U=U_{ном})}^{min} = Q_{ку}^{min} \left(\frac{U_{ном}}{U_{2\text{ доп}}} \right)^2 = 0,606 \left(\frac{6,3}{5,7} \right)^2 = 0,747 \text{ Мвар}.$$

Попередньо вибираються 6 батарей типу КС2-6,3-150 загальною потужністю $Q_{ку} = 6 \cdot 150 = 900$ квар при $U = 6,3$ кВ. Перевірка результатів зміни параметрів режиму після установки БСК проводиться при поданні її ємнісним шунтом, включеним по схемі «зірка». Величина ємнісної провідності $B_{БСК}$ визначається наступним чином:

$$B_{БСК} = Q_{ку} / U_{н}^2 = 0,9 / 6,3^2 = 0,02267 \text{ См}.$$

Схема заміщення мережі з БСК приведена на рис. 2.

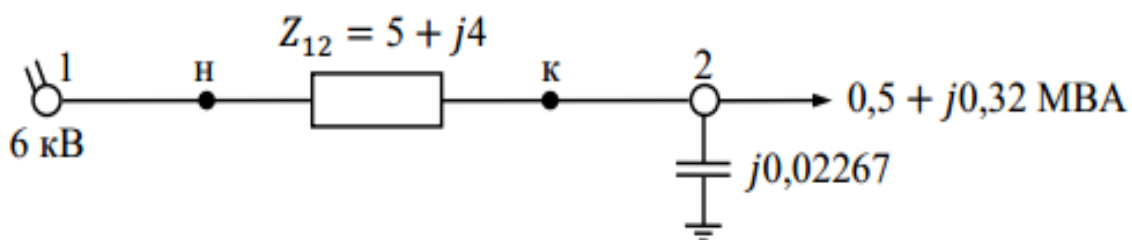


Рисунок 2 – Схема заміщення мережі з батареєю статичних конденсаторів

Проведемо перерахунок напруги в точці 2 в максимальному режимі після установки БСК.

Нехай $U_2^0 = 5,7$ кВ, $\dot{S}_{12}^k = \dot{S}_2 + \Delta \dot{S}_{ш2}$, тоді

$$\Delta \dot{S}_{ш2} = (U_2^0)^2 \hat{Y}_2 = 5,7^2 \cdot (-j0,02267) = -j0,737 \text{ МВ}\cdot\text{А};$$

$$\dot{S}_{12}^k = 0,5 + j0,32 - j0,737 = 0,5 - j0,417 \text{ МВ}\cdot\text{А};$$

$$\Delta \dot{S}_{12} = \frac{0,5^2 + 0,417^2}{5,7^2} (5 + j4) = 0,065 + j0,052 \text{ МВ}\cdot\text{А};$$

$$\dot{S}_{12}^H = \dot{S}_{12}^k + \Delta \dot{S}_{12} = 0,5 - j0,417 + 0,065 + j0,052 = 0,565 - j0,365 \text{ МВ}\cdot\text{А};$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = U_1 - \frac{P_{12}^H R_{12} + Q_{12}^H X_{12}}{U_1} = \\ = 6 - \frac{0,565 \cdot 5 + 0,365 \cdot 4}{6} = 6 - 0,227 = 5,773 \text{ кВ} > 5,7 \text{ кВ}.$$

Отже, установка 6×КС2-6,3-150 призводить до підвищення напруги в максимальному режимі і введенні її в допустиму ГОСТ 13109-97 зону.

Далі необхідно перевірити, чи не призведе установка БСК до перевищення максимально допустимої напруги в вузлі 2 в мінімальному режимі.

Потужність навантаження в мінімальному режимі

$$\dot{S}_2^{\min} = 0,6 \dot{S}_2^{\max} = 0,3 + j0,192 \text{ МВ}\cdot\text{А}.$$

Початкове наближення напруги в вузлі 2 в мінімальному режимі

$$U_2^0 = 6,3 \text{ кВ, тоді} \\ \Delta \dot{S}_{ш2} = -jQ_{ку} = -j0,9 \text{ МВ}\cdot\text{А}. \\ \Delta \dot{S}_{12} = \frac{0,3^2 + 0,708^2}{6,3^2} (5 + j4) = 0,074 + j0,059 \text{ МВ}\cdot\text{А};$$

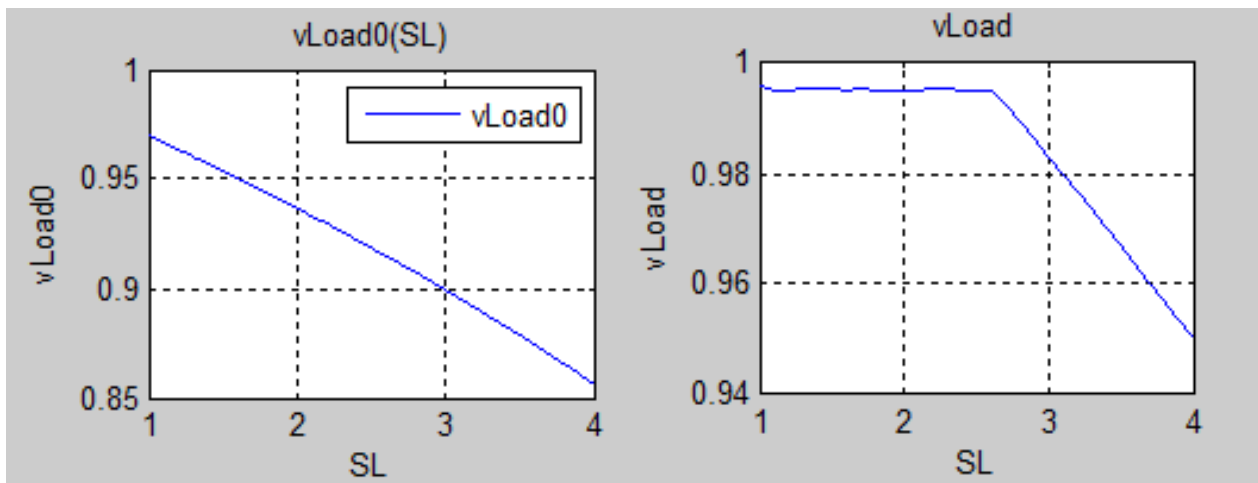
$$\dot{S}_{12}^H = 0,3 - j0,708 + 0,074 + j0,059 = 0,374 - j0,649 \text{ МВ}\cdot\text{А}.$$

Напруга в вузлі 1 в мінімальному режимі становить 6,1 кВ, тоді

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = U_1 - \frac{P_{12}^H R_{12} + Q_{12}^H X_{12}}{U_1} = \\ = 6,1 - \frac{0,374 \cdot 5 - 0,649 \cdot 4}{6,1} = 6,1 + 0,12 = 6,22 \text{ кВ}.$$

Таким чином, напруга у вузлі 2 в мінімальному режимі при установці батареї статичних конденсаторів підвищується, але не перевищує гранично допустимого значення 6,3 кВ, отже, БСК в мінімальному режимі не потрібно відключати.

Перевіривши в MATLAB як веде себе в мережі без компенсуючого пристрою (рис. 3а) і з ним (рис. 3б), отримано два графіки:



а)

б)

Рисунок 3 – Графіки показано в умовних одиницях: а) напруга в мережі без батареї статичних конденсаторів; б) напруга в мережі з батареєю статичних конденсаторів 6×КС2-6,3-150

Висновки. Відхилення напруги викликає найбільш несприятливі наслідки і завдає найбільшої матеріальної шкоди в порівнянні зі зміною інших показників якості електроенергії. Крім того, змінюються ковзання, ККД, струм статора і ротора і т.д. Термін служби ізоляції двигуна при цьому скорочується вдвічі [1].

Збільшуються активні і реактивні втрати. Збільшення напруги на 1% збільшує споживану реактивну потужність на 3%. При установці АД в поточних лініях зміна напруги позначається на продуктивності і якості через зміну швидкості обертання двигуна. Відхилення напруги відбуваються через неправильний вибір елементів мережі, нераціональне регулювання напруги шляхом перемикавання отпайок у трансформатора, обмеженої потужності джерела живлення під дією ударних навантажень. Воно зумовлено повільними процесами зміни навантажень у системі, що справляють різний вплив на режим роботи окремих споживачів. Відхилення напруги викликає найбільш несприятливі наслідки і завдає найбільшої матеріальної шкоди в порівнянні зі зміною інших показників якості електроенергії [4].

Крім того, змінюються ковзання, ККД, струм статора і ротора і т.д. Термін служби ізоляції двигуна при цьому скорочується вдвічі.

Перелік посилань

1. Журахівський А.В. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, О. Р. Пастух. – Київ. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 237 с.
2. Гук Ю. Б. Расчет надежности схем электроснабжения : монография / Ю. Б. Гук, М. М. Синенко, В. А. Тремясов. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 198 с.
3. Эндрени Дж. Моделирование при расчетах надежности в электроэнергетических системах / Дж. Эндрени. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.
4. Журахівський А.В. Надійність електричних мереж; навч. Посібник / А.В. Журахівський, Б.М. Кінаш, О.Р. Пастух. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 162 с.