

УДК 621.316.727

ДОРОФЄЄВ Б.В, ТРИЛІСР Є.А., к.т.н, ПЕТЕЛІН Е.А., к.т.н (КП ДонНТУ)

КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В МЕРЕЖАХ З ДЖЕРЕЛАМИ ВИЩИХ ГАРМОНІК

Зроблений огляд джерел вищих гармонік. Запропонована схема вибору системи компенсації реактивної потужності на підприємстві з урахуванням електромагнітної сумісності споживачів.

Розвиток сучасних технологій напівпровідників (елементів з нелінійними вольт-амперними характеристиками) веде все більш до зростаючої кількості споживачів, керованих тиристорами й конверторами. На жаль, конвертори збільшують значення індуктивної реактивної потужності й погіршують несинусоїдальну форму струмової кривої. Ці перешкоди мережі ведуть до ушкоджень і помилковим включенням устаткування й приладів.

Типовий струм конвертора являє собою накладення різних синусоїдальних складових току, тобто основної мережевої частоти й певного числа так званих вищих гармонік (у трифазній мережі в першу чергу гармоніки 5-го, 7 –го й 11-го порядків).

Найбільш серйозні порушення якості електроенергії в електричній мережі мають місце при роботі потужних керованих вентильних перетворювачів.

Залежно від схеми випрямлення вентильні перетворювачі генерують у мережу наступні гармоніки струму: при 6-фазній схемі - до 19-го порядку; при 12-фазній схемі - до 25-го порядку включно.

До появи статичних перетворювачів наявність гармонійних викривлень в енергосистемах пов'язувалася в першу чергу з роботою електричних машин і трансформаторів. І дійсно, основними джерелами гармонік, що існували раніше в електричних системах, були струми, що намагнічують силові трансформатори.

Сучасні трансформатори й обертові машини в нормальних умовах роботи не вносять істотних викривлень у мережу. Однак у перехідних процесах і в умовах роботи, відмінних від проєктованих, ці викривлення можуть сильно збільшитися.

У трансформаторах викривлення кривій струму викликаються, в основному, гармоніками кратними трьом, особливо третьої. Отже, для одержання синусоїдальної живлячої напруги необхідно виключити поширення таких гармонік, що досягається використанням обмоток, з'єднаних у трикутник. Однак 5-я й 7-я гармонійні складові струму, що намагнічує, можуть досягати досить великих значень (5-10%) і вносити істотні викривлення.

Як показано в [1] обертові електричні машини також є джерелами гармонік струму. Причинами, що викликають появу гармонік, є: не симетрія полюсів, не симетрія фаз, взаємодія гармонік між собою.

Вищі гармоніки струму й напруги викликають додаткові втрати активної потужності у всіх елементах системи електропостачання: у лініях електропередачі, трансформаторах, електричних машинах, статичних конденсаторах, тому що опори цих елементів залежать від частоти.

У конденсаторах, призначених для компенсації реактивної потужності, навіть невеликі напруги вищих гармонік можуть викликати значні струми гармонік. На підприємствах з більшою питомою вагою нелінійних навантажень батареї конденсаторів або відключаються захистом від перевантаження по струму або за короткий строк виходять із ладу через спучування банок. Це відбувається через те, що наявність вищих гармонік веде до підвищення струму в конденсаторах, тому що реактивний опір конденсаторів зі зростанням частоти - зменшується. Паралельно зі

зростанням струму в конденсаторах, який можна регулювати за допомогою конструктивних заходів, у несприятливих випадках у мережах можуть виникнути резонансні явища. Компенсаційні конденсатори та індуктивності трансформатора й мережі являють собою резонансний контур. Якщо власна частота такого контуру збіжиться із частотою вищих гармонік, то можливе виникнення коливань зі значними надструмами й перенапругами. Це веде до перенавантажень і ушкодженням в електричних установках.

«Забруднення» мереж змінного струму вищими гармоніками може приводити до наступних наслідків [2]:

- зниження терміну служби конденсаторів;
- передчасне спрацьовування контакторів і інших запобіжників;
- вихід з ладу або помилкова діяльність комп'ютерів, приводів двигунів, пристроїв освітлення й ін. чутливих споживачів;
- прискорене старіння ізоляції електричних машин, трансформаторів, кабелів;
- погіршення коефіцієнта потужності електроприймачів;
- погіршення або порушення роботи пристроїв автоматики, телемеханіки, комп'ютерної техніки й інших пристроїв з елементами електроніки;
- погрішності вимірювань лічильників електроенергії, які приводять до неповного обліку споживаної електроенергії;
- порушення роботи самих вентиляльних перетворювачів при високому рівні вищих гармонійних складових.

Для зниження резонансної частоти мережі до значення, величина якого нижче значення найменшої вищої гармоніки даної мережі, до конденсатора підключають дросель (реактор). Цим запобігають виникненню резонансу між конденсаторами й мережею, а значить і зростанню струмів вищих гармонік.

Крім того, таке включення має ефект фільтра, при якому зменшується ступінь викривлення напруги. Воно рекомендується в тих випадках, коли частка споживачів, що забруднюють мережу вищими гармоніками, становить менше 20 % усіх споживачів мережі. Резонансна частота конденсатора, включеного послідовно із дроселем, завжди лежить нижче частоти 5-ої гармоніки. Для струмів вищих гармонік ланцюг фільтра являє собою дуже низький повний опір. Тому більша частина таких струмів направляється в цій контур.

На необхідність застосування фільтрів у системах компенсації реактивної потужності вказують наступні автори [3, 4], які вважають, що в енергосистемах, що містять потужні споживачі енергії з напівпровідниковими перетворювачами, звичайно суттєво спотворюються напруги й струми електромереж. Особливо великі викривлення при наявності в системах потужних перетворювачів на одноопераційних тиристорах. Комутаційні процеси в цих пристроях також приводять до виникнення в мережах резонансних явищ.

У більшості випадків для зниження викривлень напруги мережі застосовують резонансні LC-фільтри, а також RC-ланцюги. Разом з тим сучасний стан силових напівпровідникових систем дозволяє для поліпшення якості електроенергії використовувати активні фільтри, побудовані, наприклад, на модулях IGBT (біполярний транзистор з ізольованим затвором) [3, 4]. Ці пристрої можуть виконувати й інші завдання: компенсувати реактивну потужність електромереж, відновлювати симетрію напруг. У якості потужних активних фільтрів розглядається застосування багаторівневих, многотактних і каскадних напівпровідникових перетворювачів. Розробляються також перетворювачі інших типів. Тому планування побудови системи компенсації реактивної потужності на підприємстві, доцільно проводити з урахуванням електромагнітної сумісності споживачів за наступною схемою (Рис.1)

Вимоги до якості електричної енергії встановлюються відповідним ДСТУ, у якому оговорюються норми на відхилення частоти, напруги, коефіцієнт несинусоїдальності напруги, розмах зміни напруги (доза коливань напруги), коефіцієнт гармонійної складової напруги, тощо.



$R_{Г1}$, $R_{Г2}$ – рівень вищих гармонік, якій обмежений вимогами електромагнітної сумісності устаткування

Рисунок 1 - Планування системи компенсації реактивної потужності на підприємстві

Успішна спільна паралельна робота споживачів електроенергії, а іноді й генераторного встаткування, включаючи мережі, можлива лише при забезпеченні встановлених ДСТУ норм, як з боку споживача, так і з боку живильної мережі. У цьому випадку говорять про електромагнітну сумісність устаткування в системі енергозабезпечення підприємства.

Традиційно проблема електромагнітної сумісності в системі енергозабезпечення підприємства вирішувалася за допомогою обертових синхронних компенсаторів або конденсаторних батарей з постійною ємністю, обладнаних електромеханічними комутуючими пристроями й пасивних фільтрів. Однак такі підходи вже не задовольняють сучасним вимогам, головним чином через зростаючу інтенсивність факторів, що взаємно впливають на паралельно працюючі навантаження.

Дані фактори, а також необхідність автоматичного керування різноманітними показниками якості в електричній мережі, зажадали створення систем керування параметрами якості електричної енергії.

Останні досягнення в технології виробництва потужних напівпровідникових перемикаючих приладів і обчислювальної техніки визначили розвиток систем керування якістю електроенергії по двом основним напрямкам [5]. Перше з них пов'язане з удосконалюванням силових виконавчих вузлів і елементів системи керування, друге визначається пошуком оптимальних структур і алгоритмів роботи елементів системи й системи в цілому. Ці пристрої мають прості електричні схеми. Звичайно вони складаються із шунтувальних конденсаторів і реакторів разом з тиристорними ключами.

Другий напрямок має більш широкі можливості, тому що дозволяє врахувати вплив різноманітних факторів не тільки на окремі елементи системи керування якістю електроенергії, але й на контрольовані та параметри технологічного процесу, що змінюються: струм, напругу, активну потужність, неактивні складові потужності.

Висновки:

1. Застосування в системах електропостачання підприємств схем компенсації реактивної потужності сприяє поліпшенню параметрів якості споживаної підприємством електроенергії;
2. В енергосистемах, що містять потужні споживачі енергії з напівпровідниковими перетворювачами, звичайно суттєво спотворюються напруги й струми електромереж за рахунок виникнення вищих гармонік, що практично зводить нанівець усі зусилля по компенсації реактивної потужності;
3. Побудову системи компенсації реактивної потужності на підприємстві, доцільно проводити з урахуванням електромагнітної сумісності споживачів;
4. Для запобігання негативному впливу вищих гармонік на роботу електромереж та споживачів енергії необхідно застосовувати резонансні або активні фільтри, які пригнічують усі неосновні складові струмів мереж у певному діапазоні частот, у тому числі неканонічні й низькочастотні складові;
5. Активні фільтри є багатофункціональними пристроями й, крім фільтрації струмів і напруг електромереж, можуть забезпечувати компенсацію реактивної потужності.

Перелік посилань:

1. Гармоники в электрических системах: Пер. с англ./Дж. Арриллага, Д. Брэдли, П. Боджер. - М.: Энергоатомиздат, 1990. -320 с: ил.
2. Справочная книга электрика / Под ред. В.И. Григорьева. – М.: Колос. 2004–56 с.
3. Пронин М.В., Воронцов А.Г., Калачиков П.Н., Емельянов А.П. Электроприводы и системы с электрическими машинами и полупроводниковыми преобразователями (моделирование, расчет, применение). – СПб: «Силовые машины», «Электросила», 2004. – 252 с.
4. Пронин М.В., Воронцов А.Г. Активная фильтрация напряжений и токов сети в установках с высоковольтными тиристорными преобразователями // Сб. «Горное оборудование и электромеханика». – 2005. – № 5. – С. 41–45.
5. Управление качеством электроэнергии при несинусоидальных режимах / А.В. Агунов; СПбГМТУ.- СПб., - 2009 -134 с.