

СЕКЦІЯ 8: ТЕОРЕТИЧНА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

До 100-річчя з дня народження академіка І.М. Чиженка

КОМБІНОВАНІ СПОСОБИ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ВЕНТИЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СТРУМУ

Кудря Є.А., доц., Поворознюк Н.І., доц.

НТУУ «КПІ», кафедра теоретичної електротехніки

Майкович І.В., Наухацька Т.А., студенти

НТУУ «КПІ», кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. У сучасній електроенергетиці простежується тенденція зростання частки споживачів, в яких використовуються потужні вентильні пристрої, що працюють в ключовому режимі: керовані і некеровані випрямлячі, інвертори, конвектори, перетворювачі частоти, тощо. Ключовий режим роботи вентильного перетворювача спричинює відхилення форм кривих струмів (напруг) на вході пристрою від синусоїди. До шин електромережі можуть бути підключені також високоточні комп'ютерні системи, технологічні лінії і т.п. Спотворення кривої напруги негативно впливають на умови їх експлуатації, викликають збої у роботі та навіть аварійні відключення. Крім того, виникають проблеми при використанні конденсаторних батарей, призначених для підвищення коефіцієнта потужності споживачів з вентильними перетворювачами.

Мета роботи: Пошук економічно обґрунтованих способів підвищення коефіцієнта потужності вентильних перетворювачів з одночасним зменшенням амплітуд струмів вищих гармонік у мережі.

Матеріали і результати досліджень. Вищими гармоніками вхідного струму умовно-шестифазного перетворювача є п'ята, сьома одинадцята, тринадцята і т.д.. Діючі значення струмів вказаних гармонік потужного перетворювача досить істотні. Наприклад, для типового агрегату потужністю 40 МВт установки електролізу алюмінію струми 11-тої і 13-тої гармоніки у мережі 10 кВ можуть досягати значень 108 та 93 А відповідно. При одночасній роботі 8 таких агрегатів заводу результуючі струми вищих гармонічних складових в електромережі суттєво збільшаться.

Використання вентильного перетворювача в керованому режимі призводить, як правило, до суттєвого зниження коефіцієнта потужності пристрою. Найбільш простим і часто вживаним способом підвищення коефіцієнта потужності є застосування батарей конденсаторів, які вмикаються на шини мережі живлення паралельно вентильним перетворювачам. Практика використання батарей конденсаторів (БК) показала, що при цьому можуть виникати резонансні явища на вищих гармоніках, які є в спектрі вхідного струму перетворювача [1]. Ймовірність виникнення резонансного стану зростає, якщо батарея конденсаторів має змінну ємність. У режимі резонансу амплітуда струму резонансної гармоніки конденсатора може навіть

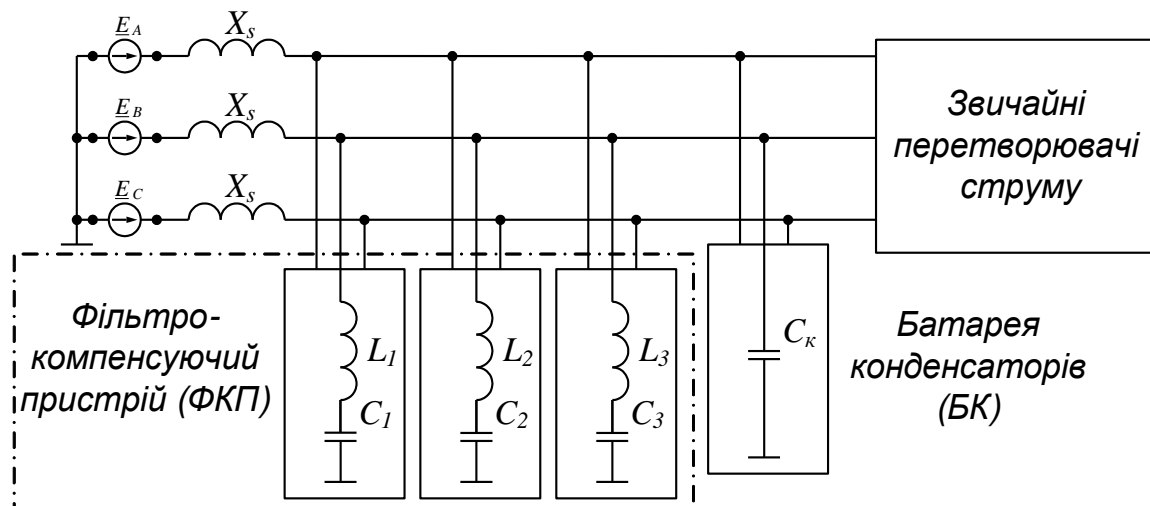


Рисунок 1– Вентильний перетворювач із фільтро-компенсуючими пристроями

перевищувати амплітуду основної гармоніки [1], що зменшує строк служби батареї і може вивести її з ладу.

Для поліпшення якості електроенергії, зокрема для зменшення амплітуд вищих гармонік в кривій струму, що надходить з мережі до вентильного перетворювача, застосовуються фільтри-шунти, побудовані на батареях конденсаторів і індуктивних реакторах (рис. 1). Крім фільтрації вищих гармонік у мережі, ці пристрої також підвищують коефіцієнт потужності установки в цілому. Оскільки найбільш цінною у конструкції фільтра є конденсаторна батарея, то для зниження масо-габаритних показників і вартості фільтра доцільно мінімізувати реактивну потужність конденсаторів, що входять до складу фільтра.

Питання мінімізації реактивних потужностей конденсаторів фільтрів аналізувалося авторами у роботі [2]. Було показано, що коефіцієнт ефективності K_e використання конденсаторів у фільтрі n -ої гармоніки становить:

$$K_e = \frac{Q_{n \min}}{Q_{cn \min}} = \frac{n^2 - 1}{2n^2}$$

де $Q_{cn \min}$ — мінімальне значення реактивної потужності конденсаторів фільтра n -ої гармоніки;

$Q_{n \min}$ — реактивна потужність фільтра на основній гармоніці.

Для фільтрів 5-ої, 7-ої, 11-ої, і 13-ої гармонік матимемо:

n	5	7	11	13
K_e	0,48	0,49	0,496	0,497

Тобто $K_e < 0.5$ і, відповідно, фактична реактивна потужність конденсаторів фільтра більша ніж в два рази перевищує реактивну потужність, яка надходить від фільтра в електромережу. Сконструйовані з врахуванням вказаних умов і встановлені на найбільш суттєві вищі гармоніки вхідного струму перетворювача фільтри матимуть мінімальну потужність конденсаторів, сприятимуть формуванню синусоїдної кривої струму в мережі і забезпечать

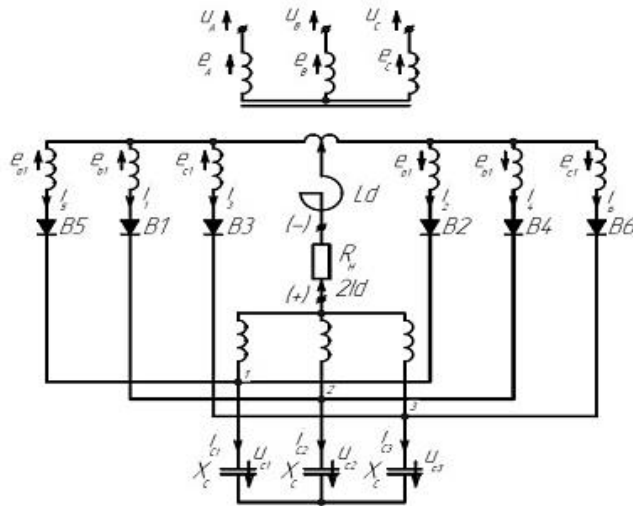


Рисунок 2– Компенсаційний перетворювач з внутрішньою ланкою комутації

часткову компенсацію індуктивної складової першої гармоніки струму перетворювача. Регулювання реактивної потужності у такій системі здійснюється шляхом включення чи відключення частини фільтрів. Це може призвести до спотворення форм кривих струму і напруги в мережі, викликати небажані, згадувані раніше наслідки.

Якщо фільтро-компенсуючі пристрої (ФКП) під'єднані до вентиляного перетворювача, але використовуються не всі конденсатори, то їх надлишок можна увімкнути безпосередньо на шини живлення перетворювача у вигляді окремої батареї конденсаторів (рис. 1). Наявність окремої батареї розширює можливості регулювання реактивної потужності в мережі живлення споживачів. Але при роботі надпотужних вентиляних перетворювачів у режимі регулювання ємності батареї знову можуть виникати небажані резонансні явища вже на частотах вищих гармонічних складових аж до 37-ої гармоніки [1].

Залишивши ФКП під'єднаними до вентиляного перетворювача для поліпшення форми кривої струму в електромережі, конденсатори окремої батареї можна використати більш надійно і ефективно, включивши їх в робоче коло самого перетворювача. Такі перетворювачі з конденсаторами в робочому колі були розроблені і досліджені в Київському політехнічному інституті та отримали назву компенсаційних. Авторські винаходи та глибокі дослідження цих перетворювачів виконали академік І.М. Чиженко та його послідовники: проф. В.С. Бойко, проф. І.А. Курило, доц. Ю.Ф. Видолоб і ін. Вентильні компенсаційні перетворювачі були впроваджені на 18-ти заводах кольорової металургії та хімічних підприємствах і 4-ох тягових підстанціях електрифікованих залізниць. За станом на 1967 рік в СРСР працювало 46 компенсаційних випрямлячів загальною потужністю понад 365 МВА, які забезпечували щорічну економію електроенергії 145 млн. кВт•год.

У 50-ті та на початку 60-х років у випрямлячах використовувались ртутні вентилі зі значним спадом напруги (до 20 В) на вентилі; тому найбільш поширеною схемою перетворення для потужних випрямлячів була подвійна трифазна схема зі зрівнювальним реактором. Саме на основі таких агрегатів створювались

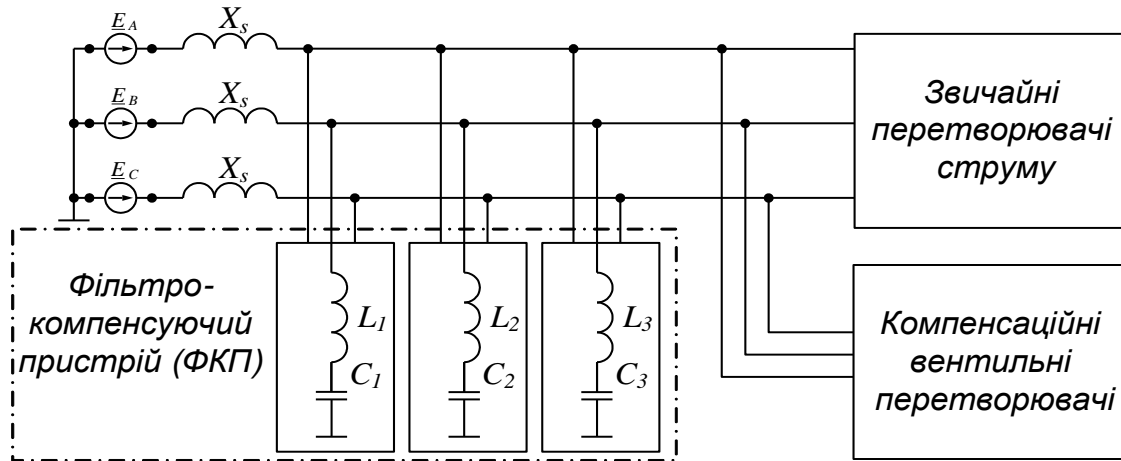


Рисунок 3— Комбінована структура вентильних перетворювачів із фільтро-компенсуючими пристроями

компенсаційні перетворювачі шляхом доповнення звичайного агрегату ланкою комутації, в яку входили трифазний зрівнювальний реактор та батарея конденсаторів (рис. 2). Ця ж схема перетворення використовувалась певний час в існуючих агрегатах і після переходу на більш економічні напівпровідникові вентилі.

На основі досягнень силової електроніки науковцями кафедри під керівництвом академіка І.М. Чиженка були розроблені, досліджені і запатентовані двомостові, чотирьохмостові, каскадні компенсаційні перетворювачі, які можуть працювати як у режимі випрямлячів, так і в режимах інверторів (ведених мережею чи автономно). Ці вискоекономічні компенсаційні перетворювачі давно чекають свого впровадження на підприємствах України, особливо на фоні сьогоденної енергетичної кризи.

Висновки.

1. Для підвищення коефіцієнта потужності вентильних перетворювачів електричного струму бажано використовувати компенсаційні перетворювачі, техніко-економічні показники яких кращі від звичайних. Їх можна під'єднувати паралельно уже працюючим звичайним перетворювачам (рис. 3), або (при нових розробках) як складову частину гібридного перетворювача, в якому одна частина є звичайний перетворювач, а інша — компенсаційний.

2. Зменшення вищих гармонічних складових у струмі мережі, яка живить потужні вентильні перетворювачі, можна досягти, встановивши на шини живлення фільтро-компенсуючі пристрої (рис. 3).

Перелік посилань

1. И.М. Чиженко, В.С. Бойко, Е.А. Кудря. Влияние преобразователей электрического тока на сеть электроснабжения промышленного предприятия // Энергетика и электрификация. Научно-производственный сб., №86.-К.:Техніка.

2. Кудря С.А., Поворознюк Н.І. Визначення параметрів конденсаторних батарей резонансних фільтрів вентильного перетворювача // Сучасні проблеми електроенергетики та автоматики. НТУУ "КПІ", ФЕА – 2011.