

УТОЧНЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЕНСАЦІЙНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Кудря Є.А., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки

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

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. У сучасній електроенергетиці простежується тенденція зростання частки споживачів, в яких використовуються потужні вентильні пристрої: керовані і некеровані випрямлячі, інвертори, перетворювачі частоти, тощо. Ці пристрої забезпечують ефективно і легко здійснюване керування технологічними процесами агрегатів, яких вони живлять. Однак самі вентильні перетворювачі, отримуючи із електромережі струм, форма кривої якого відмінна від синусоїди, негативно впливають на умови експлуатації інших, приєднаних до цієї мережі, споживачів. Крім того, виникають проблеми при використанні конденсаторних батарей, які вмикають в електромережу для підвищення коефіцієнта потужності пристроїв з вентильними перетворювачами.

Вентильні перетворювачі, які мали поліпшені техніко-економічні показники, були розроблені і впроваджені в промисловість науковцями кафедри ТОЕ КПІ. В цих перетворювачах, що отримали назву "компенсаційні", конденсатори вмикають в робоче коло самого перетворювача, чим виключається можливість виникнення небезпечних резонансних явищ в електромережі живлення і забезпечується більш ефективно використання конденсаторів. Застосування нової елементної бази в силовій електроніці призвело до зростання максимальних потужностей перетворювачів електричного струму як звичайних, так і компенсаційних. Тому виникла необхідність в уточненні енергетичних характеристик компенсаційних перетворювачів, аналіз робочих режимів яких спочатку базувався на спрощеній апроксимації закону зміни струму в контурі комутації.

Метою роботи є аналіз співвідношень, які визначають основні енергетичні характеристики компенсаційного перетворювача, причому ці співвідношення базуються на рішеннях диференціальних рівнянь, що описують електромагнітні процеси у його різних режимах [1, 2].

Результати досліджень. В основу досліджень прийнято компенсаційний перетворювач за подвійною трифазною схемою нульового типу з додатковою ланкою комутації у вигляді трифазної батареї конденсаторів і зрівнювального реактора (умовно-шестифазний перетворювач, рис. 1). Отримані рішення можуть бути поширені і на більш складні (умовно-дванадцятифазні) компенсаційні перетворювачі, які можна створити шляхом каскадного чи паралельного з'єднання двох базових умовно-шестифазних перетворювачів із спільною ланкою комутації.

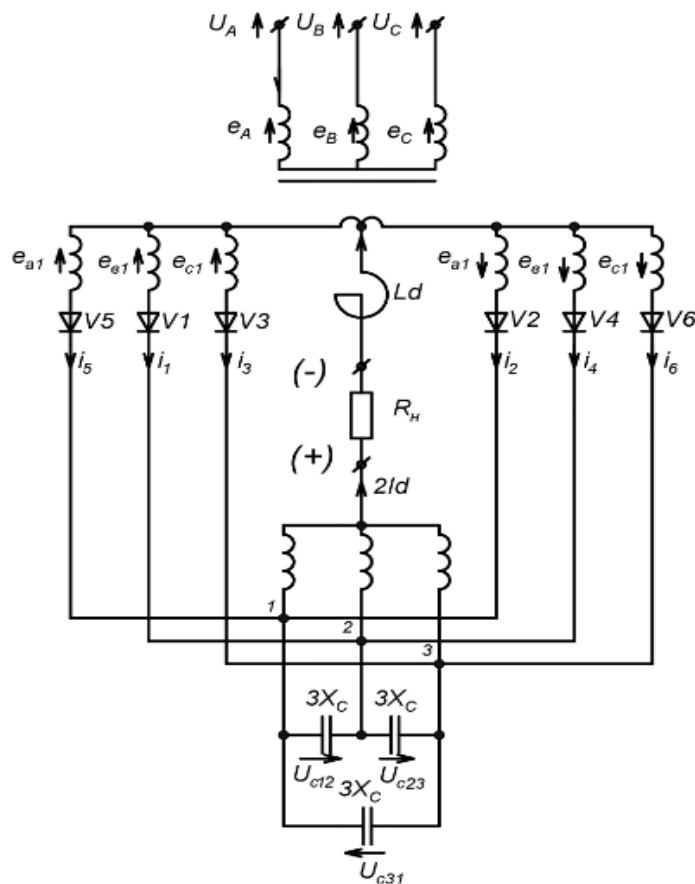


Рисунок 1 – Компенсаційний перетворювач за подвійною трифазною схемою

В попередньому аналізі [2] були отримані рішення для струму комутації i_k вентиля, що вступає в роботу, та напруги u_{c23} на конденсаторах, які знаходяться між комутуючими фазами. Виходячи з цих рішень та враховуючи значення струмів і напруг ділянок компенсаційного перетворювача в проміжках часу між комутаціями, для визначення його основних енергетичних характеристик матимемо наступні рівняння.

Значення кута комутації вентилів γ та кута зсуву початку комутації α (відносно нульового значення лінійної напруги комутуючих фаз) знаходимо із сумісного рішення рівнянь (1) і (2):

$$I_d^*(\xi^2 - 1)\cos^2 \frac{\xi\gamma}{2} = \cos(\gamma - \alpha) - \cos\alpha \cos\xi\gamma - \frac{1}{\xi} \sin\alpha \sin\xi\gamma; \quad (1)$$

$$I_d^*\xi^2 \left(\frac{q\pi}{9} - \frac{\gamma}{2} - \frac{\sin\xi\gamma}{2\xi} \right) = \left(1 - \frac{\cos\xi\gamma}{\xi^2 - 1} \right) \sin\alpha + \frac{\xi \cos\alpha}{\xi^2 - 1} \sin\xi\gamma - \frac{\xi^2 \sin(\gamma - \alpha)}{\xi^2 - 1} \quad (2)$$

В рівняннях (1) і (2) прийнято:

$$I_d^* = \frac{2I_d X_a}{(\sqrt{6}U_2)} - \text{відносне значення струму навантаження};$$

$2I_d$ – значення струму навантаження, який вважається незмінним в часі;

U_2 – фазна напруга мережі, приведена до вторинної обмотки трансформатора;

X_a – індуктивний опір фази трансформатора, приведений до його вторинної обмотки;

X_c – реактивний опір фази комутуючих конденсаторів при частоті мережі;

$\xi^2 = X_c / X_a$; q – схемний коефіцієнт.

Уточнене (відносне) середнє значення U_d^* вихідної напруги компенсаторного випрямляча визначається співвідношенням (3):

$$U_d^* = \frac{3}{4\pi} \left[\cos\alpha + \cos(\gamma - \alpha) - \left(\frac{2\pi q}{9} - \gamma \right) \sin\alpha \right] + \left(\frac{\pi q^2}{9} + \frac{9\gamma^2}{4\pi} - q\gamma \right) I_d^* \frac{\xi^2}{12} \quad (3)$$

$$\text{Тут: } U_d^* = U_d / (\sqrt{6}U_2).$$

Відповідності рівнянням (1), (2), (3) при спрощеній (квадратичній) апроксимації струму комутації вентиля приведені в літературі [3].

Залежності кутів α і γ та вихідної напруги U_d^* від струму навантаження I_d^* , розраховані по формулам (1), (2), (3) для компенсаторного перетворювача рис.1, приведені на рис.2. Там же (пунктиром) приведені залежності цих величин, отримані за результатами наближеного аналізу (квадратична комутація). Із приведених графіків видно, що розбіжності між точними значеннями α , γ і U_d^* та їх значеннями із наближеного аналізу при зростанні I_d^* зростають.

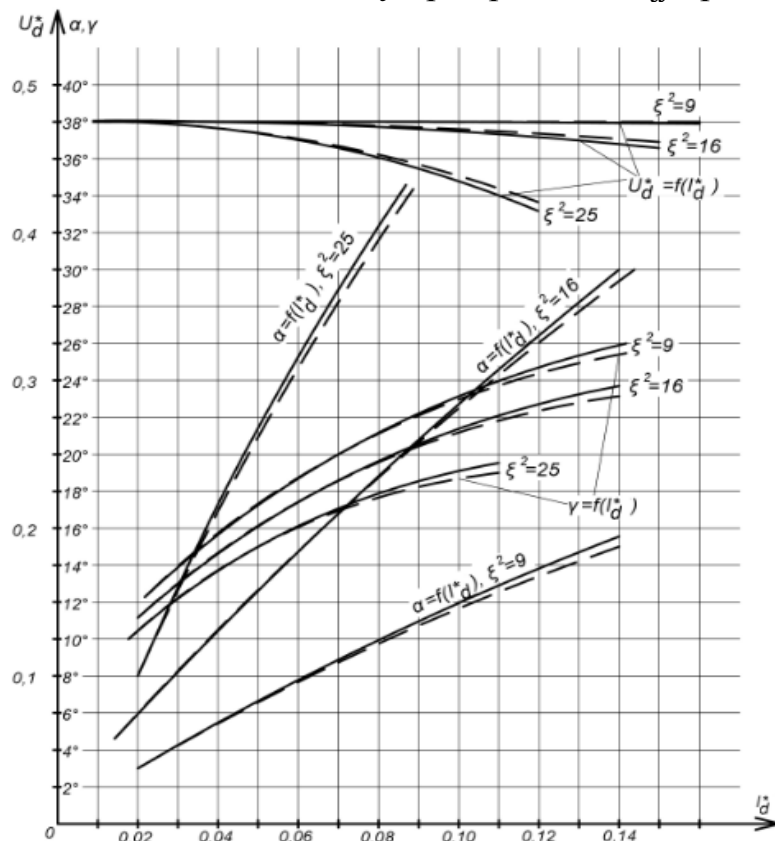


Рисунок 2 – Залежності кутів α і γ та U_d^* від струму навантаження випрямляча

Рівняння (1), (2), (3) можна використати також для розрахунку умовно-дванадцятифазних компенсаційних перетворювачів (рис 3 а,б), врахувавши, що схемний коефіцієнт q дорівнює відповідно: для базового перетворювача (рис. 1) – $q=2$; для схеми (рис 3а) – $q=3$; для схеми (рис. 3б) – $q=1$.

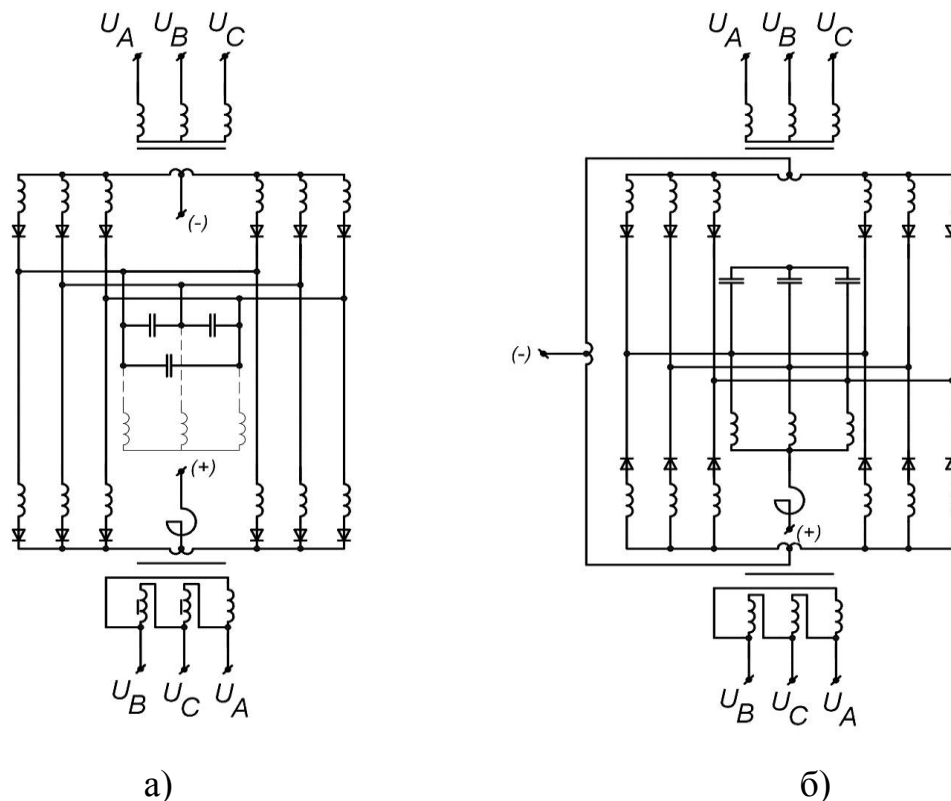


Рисунок 3 – Умовно-дванадцятифазні компенсаційні перетворювачі:
а) – каскадне з'єднання; б) – паралельне з'єднання.

Висновок. Аналіз компенсаційного перетворювача, проведений на основі рішень диференційних рівнянь, які описують його поведінку в різних режимах роботи, дає можливість уточнити енергетичні характеристики не тільки перетворювачів за нульовою схемою, але й інших, більш складних схем. Досягнутий результат має важливе теоретичне значення, оскільки є подальшим розвитком методів аналізу електромагнітних процесів у компенсаційних перетворювачах. Практичне значення отриманих рішень – можливість більш точного визначення енергетичних характеристик перетворювача і за рахунок їх реалізації підвищення техніко-економічних показників перетворювачів.

Перелік посилань

1. Бойко В.С. Преобразовательные системы с одноступенчатой ёмкостной коммутацией. Автореф. дис. докт.техн.наук: 05.09.12 (Ин-т электродинамики НАН Украины.-К.,1993.-38с.
2. Кудря С.А., Майкович І.В., Наухацька Т.А. Використання методу "припасовування інтервалів" при аналізі електричних кіл з вентильними елементами.//Збірник "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики".-К.: "Політехніка".-2016.
3. Чиженко І.М. Работа схемы преобразования электрического тока "звезда-прямая и обратная звезды с уравнивательными катушками и коммутирующими конденсаторами" в неуправляемом режиме.-Изв. Киев. политех. ин-та, т. XXII.