

Перехідні процеси в електроприводі за такого налаштування контуру швидкості зображені на рис. 2, б. Як показує аналіз, тут мінімальний момент двигуна не досягає від'ємних значень, що відповідає безрекуперативним режимам роботи електропривода. Порівняно середньоквадратичний момент двигуна в усталеному режимі роботи за період зміни моменту інерції. Розрахунок показує, що середньоквадратичне значення моменту електропривода з регулятором швидкості, налаштованим згідно з запропонованою методикою, є на 40 % меншим, ніж з регулятором, налаштованим на технічний оптимум. Отже, за забезпечення робочих режимів на стільки ж можна зменшити потужність приводного двигуна.

Висновки. 1. Використання електропривода за системою ТПЧ-АД для кривошипно-шатунних механізмів вимагає спеціального налаштування системи автоматичного регулювання.

2. Система керування повинна мати можливість формування характеристик з регулюванням жорсткості робочої ділянки механічної характеристики.

3. Правильний вибір налаштувань контуру регулювання швидкості дозволить мінімізувати потужність двигуна за забезпечення працездатності електропривода.

1. Piotr Huryn. *Serwonapedy B&R Acopos // Napedy i sterovanie*. –2004. –№718(63/64). –р.18-20.
2. Карплюк Б.Л., Карплюк Л.Ф., Панченко Б.Я. *Частотно-керований електропривод для навантаження з кривошипно-шатунним механізмом // Вісн. нац. ун-ту “Львівська політехніка”*. – 2006. – № 563. – С. 38–41.

УДК 621. 314

П.П. Климук, М.Й. Олійник, В.Г. Федішин
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕПМС

АНАЛІЗ ГАРМОНІЙНИХ СКЛАДОВИХ ВИПРЯМЛЕНОЇ НАПРУГИ ТРИФАЗНОГО МОСТОВОГО ВИПРЯМЛЯЧА ЗА УМОВИ ЙОГО ЖИВЛЕННЯ ВІД НЕСИМЕТРИЧНОГО ДЖЕРЕЛА НАПРУГИ

© Климук П.П., Олійник М.Й., Федішин В.Г., 2008

Отримані аналітичні вирази для визначення гармонійних складових випрямленої напруги трифазного мостового випрямляча за умови його живлення від несиметричного джерела напруги. Оцінено значення цих гармонійних складових в гранично-допустимих межах зміни несиметрії напруг джерела живлення.

This article contains the analytical expressions for determination of constituents of rectify tension of three-phase bridge rectifier on condition of his feed from the asymmetrical source of tension. The estimation of values of these harmonious constituents is executed in the maximum possible scopes of change of asymmetrical of tension source of feed.

Постановка проблеми. Реальні трифазні системи живлення, як правило, є несиметричними внаслідок нерівномірного розподілу навантаження між фазами, несиметрії магнітних опорів середньої та крайніх фаз трифазних трансформаторів тощо. Несиметрія напруг живлення спотворює форму випрямленої напруги трифазного мостового випрямляча, що є причиною появи в її складі додаткових (неканонічних) гармонійних складових [1]. Відзначена обставина зумовлює необхідність досліджень складу і амплітуд гармонік випрямленої напруги.

Аналіз останніх досліджень. Існуючі мережі напругою 0,38 кВ не проектувались на стрімке зростання комп'ютерних мереж сьогодення. Тому аналізу складу та впливу вищих гармонік на мережу напругою 0,38 кВ приділено особливу увагу в багатьох наукових публікаціях [2–4]. Несиметричні режими роботи статичних перетворювачів також спричиняють появу додаткових неканонічних вищих гармонік струму та напруги [5]. Несиметрія напруг оцінюється коефіцієнтами несиметрії зворотної та нульової послідовностей. Нормально та граничнодопустимі значення цих коефіцієнтів (відповідно 2% та 4 % від діючого значення міжфазної напруги живлення) встановлює Міжнародний стандарт [6], який введений з 01.01.2000 року як державний стандарт України [7]. Виконаний авторами аналіз значень гармонійних складових випрямленої напруги трифазного мостового випрямляча в допустимих межах зміни коефіцієнта несиметрії зворотної послідовності дає змогу правильно вибрати та розрахувати згладжувальні фільтри.

Завдання досліджень. Метою досліджень є оцінювання впливу гармонійних складових випрямленої напруги трифазного мостового випрямляча на вибір згладжувальних фільтрів. Для цього необхідно отримати аналітичні вирази гармонійних складових випрямленої напруги за умови появи несиметрії напруг живлення.

Виклад основного матеріалу. У разі симетричної системи живлення крива випрямленої напруги має період повторюваності $T = p/3$, її гармонійні складові (канонічні) кратні шести. Найбільше значення з них має шоста гармоніка – 5,7 % від середнього значення випрямленої напруги U_{d0} [8]. Несиметрія напруг живлення спотворює форму випрямленої напруги, її період повторюваності становить $T = p$ і складається в загальному випадку із трьох несиметричних ділянок міжфазних напруг (рис. 1).

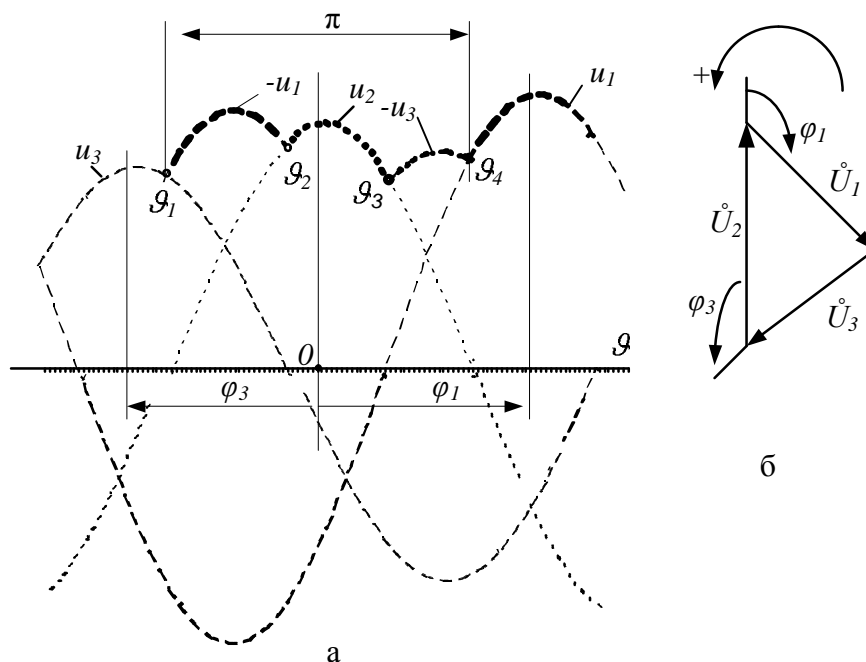


Рис. 1. Часові діаграми лінійних і випрямленої напруг (а) та векторна діаграма лінійних напруг (б)

Вирази лінійних напруг, які беруть участь у формуванні випрямленої напруги, для прийнятої на рис. 1 точки відліку можна записати у такій формі:

$$u_1 = U_{m1} \cos(J + j_1); \quad u_2 = U_{m2} \cos(J + j_2); \quad u_3 = U_{m3} \cos(J + j_3), \quad (1)$$

де U_{m1}, U_{m2}, U_{m3} – амплітуди лінійних напруг; j_1, j_2, j_3 – початкові фази напруг відносно прийнятої точки відліку. За точку "0" відліку кутів прийнято момент, який відповідає амплітуді напруги u_2 .

За умови $u_1 + u_2 + u_3 = 0$ точки перетину лінійних напруг, які формують випрямлену напругу, відповідно дорівнюють

$$J_1 = -p/2; J_2 = p/2 - j_3; J_3 = -p/2 + |j_1|; J_4 = p/2. \quad (2)$$

Якщо прийняти $j_2 = 0$, то початкові фази напруг відповідно до рис. 1, б визначають з відомих виразів

$$j_1 = -p + \arccos \left[\frac{U_1^2 + U_2^2 - U_3^2}{2U_1U_2} \right]; \quad (3)$$

$$j_2 = 0; \quad (4)$$

$$j_3 = p - \arccos \left[\frac{U_3^2 + U_2^2 - U_1^2}{2U_3U_2} \right]. \quad (5)$$

Наведена форма запису лінійних напруг (1) дозволяє отримати формули складових розкладу випрямленої напруги у ряд Фур'є у вигляді, придатному для автоматизованого (комп'ютерного) розрахунку. Середнє значення випрямленої напруги визначатимемо з виразу

$$U_{d0} = \frac{1}{p} \sum_{n=1}^3 (-1)^n U_{mn} \left\{ 2 \cos \left(\frac{J_{n+1} + J_n + j_n}{2} \right) \sin \left(\frac{J_{n+1} - J_n}{2} \right) \right\}, \quad (6)$$

де $n=1, 2, 3$ – індекси фаз.

Косинусні та синусні складові гармонік випрямленої напруги у разі несиметрії напруг живлення будуть кратні двом та визначатимуть з таких формул:

$$A_n = \frac{2}{p} \sum_{n=1}^3 (-1)^n U_{mn} \times \left\{ \frac{1}{n+1} \sin \left[(n+1) \frac{J_{n+1} - J_n}{2} \right] \times \cos \left[(n+1) \frac{J_{n+1} + J_n + j_n}{2} \right] + \frac{1}{n-1} \sin \left[(n-1) \frac{J_{n+1} - J_n}{2} \right] \times \cos \left[(n-1) \frac{J_{n+1} + J_n - j_n}{2} \right] \right\}; \quad (7)$$

$$B_n = \frac{2}{p} \sum_{n=1}^3 (-1)^n U_{mn} \times \left\{ \frac{1}{n+1} \sin \left[(n+1) \frac{J_{n+1} - J_n}{2} \right] \times \sin \left[(n+1) \frac{J_{n+1} + J_n + j_n}{2} \right] + \frac{1}{n-1} \sin \left[(n-1) \frac{J_{n+1} - J_n}{2} \right] \times \sin \left[(n-1) \frac{J_{n+1} + J_n - j_n}{2} \right] \right\}, \quad (8)$$

де $n=2, 4, 6, \dots$ – номери гармонік.

Амплітуда n -ї гармонійної складової та її фазовий кут відповідно дорівнюють

$$U_{mn} = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}; \quad \operatorname{tg} j_n = \frac{A_n}{B_n}. \quad (9)$$

Зауважимо, що формули (6), (7) та (8) у разі симетричної системи живлення перетворюються у відомі формули ряду Фур'є [5].

За отриманими формулами (6)–(9) виконані розрахунки гармонік випрямленої напруги в межах граничнодопустимих значень коефіцієнта несиметрії зворотної послідовності для п'яти видів несиметрії, які визначаються різним співвідношенням діючих значень трьох лінійних напруг живлення U_1, U_2, U_3 , а саме:

$$U_1 = U_2 + \alpha DU; \quad U_2; \quad U_3 = U_2 - (1-\alpha)DU, \quad (10)$$

де α – коефіцієнт, що задає певний вид несиметрії: 1) $\alpha_1=0$; 2) $\alpha_2=0,25$; 3) $\alpha_3=0,5$; 4) $\alpha_4=0,75$; 5) $\alpha_5=1,0$; DU – різниця між діючими значеннями найбільшої та найменшої міжфазних напруг живлення, що задавалась в межах граничнодопустимого значення коефіцієнта несиметрії зворотної послідовності. У ГОСТі 13109 – 97 рекомендовано спрощену формулу для визначення значення коефіцієнта несиметрії зворотної послідовності

$$K_2 = 0,62 \alpha DU / U_{ном}, \quad (11)$$

де $U_{ном}$ – номінальне значення лінійної напруги.

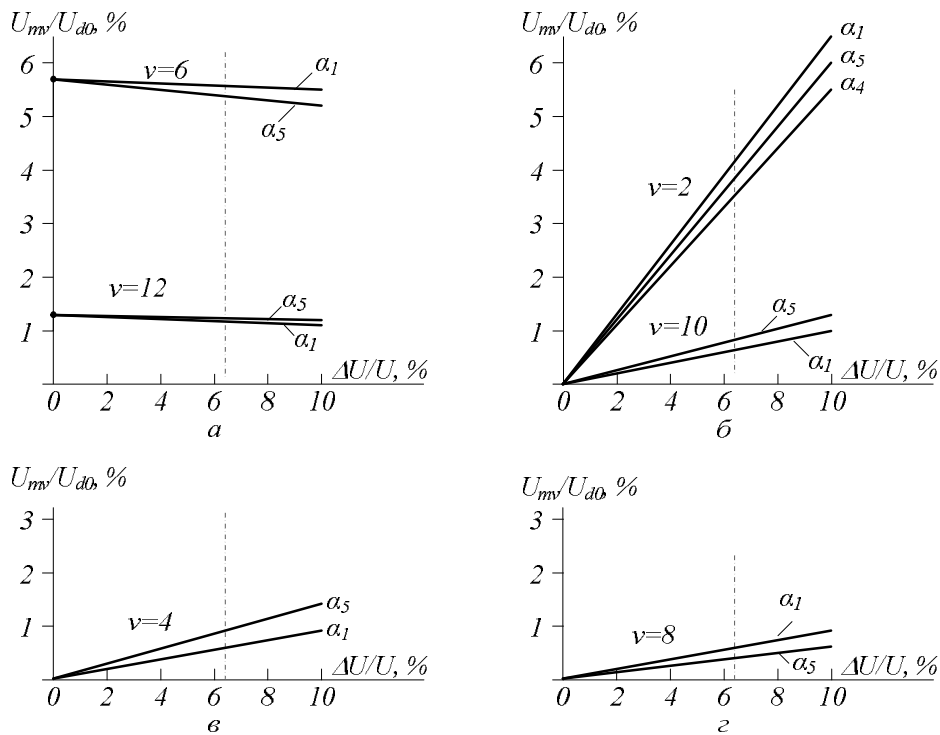


Рис. 2. Залежності амплітуд гармонійних складових U_{mv}/U_{d0} випрямленої напруги від відносного значення різниці напруг DU/U для різних видів несиметрії α : $\alpha_1=0$; $\alpha_4=0,75$; $\alpha_5=1,0$

Враховуючи граничнодопустиме значення коефіцієнта несиметрії зворотної послідовності (4 %) та формулу (11), знаходимо граничнодопустиме значення різниці напруг $DU/U_{ном}$, тобто $DU/U_{ном}=0,04/0,62=0,0645$.

На рис. 2 показані результати аналітичних досліджень гармонік випрямленої напруги різних видів несиметрії α для характерних гармонік випрямляча. Допустиме відносне значення різниці $DU/U_{ном}$ відповідає вертикальній пунктирній лінії.

Значення канонічних гармонійних складових випрямленої напруги (шостої та дванадцятої) практично незмінні у досліджуваних межах зміни різниці напруг $DU/U_{ном}$. Неканонічні гармонійні складові (друга, четверта, восьма, десята) зростають із збільшенням відсотка різниці напруг $DU/U_{ном}$. На межі його граничнодопустимого значення (див. вертикальну лінію) друга неканонічна гармонійна складова стає співрозмірною з канонічною шостою. Гармонійні складові вищих порядків не набувають істотних значень.

На рис. 2 не вказані залежності для видів несиметрії з $\alpha_2=0,25$ і $\alpha_3=0,5$, бо вони знаходяться в зоні між залежностями із значеннями α від 0 до 1,0.

Висновки. Для оцінювання струмових навантажень конденсаторних фільтрів за умови живлення випрямляча від несиметричного джерела напруги необхідно враховувати поряд з першою канонічною (шостою) також неканонічні гармонійні складові випрямленої напруги.

1. Генрих Г.А., Денисенко Г.И., Мишин В.В., Стряпан В.Н. *Особые режимы работы мощных статических преобразователей установок плавки гололёда на линиях электропередач.* – К.: Вища шк., 1975. – 242 с. 2. Бердак Я.С. *О влиянии компьютерных сетей на электрические сети напряжением 0,38 кВ* // *Промэлектр.* – 2007. – № 4. – С. 40. 3. Григорьев О., Пастухов В., Соколов В., Красилов И. *Компьютерная техника не безопасная нагрузка электрической сети* // *Рынок электротехники.* – 2008. – № 1(9). – С. 70. 4. Федий В.С., Наместник С.Г. *Анализ сетевого тока трехфазного вентильно – конденсаторного источника реактивной мощности в индуктивном режиме* // *Технічна електродинаміка.* – 2003. – № 5. – С. 16. 5. Паранчук Я.С., Плахтина О.Г., Мороз В.І., Уханська Д.В. *Аналіз гармонік струму магнітно – тиристорного перетворювача*

напруги у несиметричних режимах // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2002. – № 449. – С. 151. 6. *Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.* – К.: Госстандарт Украины, 1999. 7. *Наказ Держстандарту України № 354 від 18.06.1999 року.* 8. *Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники.* – М.: Высш. шк., 1962. – 752 с.

УДК 62-83::621.313.3-501.72

Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра ЕАП

МАТЕМАТИЧНІ ТА СТРУКТУРНІ МОДЕЛІ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ, ПОБУДОВАНИХ НА ОСНОВІ ОДНОФАЗНИХ ЗАСТУПНИХ СХЕМ

© Костинюк Л.Д., Мороз В.І., 2008

Розглянуто математичні та структурні моделі асинхронних двигунів, які побудовані на підставі Г- і Т-подібних однофазних заступних схем. Виконано порівняння з моделлю асинхронного двигуна у фазних координатах.

The mathematical and structure models of asynchronous machines based on the Г- and T-like one-phase equivalent circuits are described in this article. The model was compared with the model based on the Park equations.

Постановка проблеми. Комп'ютерні моделі асинхронних двигунів (АД) дають змогу досліджувати часові процеси з різним рівнем адекватності залежно від складності поставлених задач. Здебільшого є можливість відмовитися від надмірної деталізації, наприклад, у разі використання АД як привідного двигуна механічної системи з великими маховими масами, і отже, істотно підвищити швидкість моделювання. Особливо це актуально в системах реального часу під час розв'язування задач ідентифікації, зокрема з використанням спостерігачів.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні методи математичного та цифрового моделювання дають змогу створювати моделі електричних машин змінного струму різного рівня точності – від лінійних неперервних до нелінійних імітаційних. Останні – це доволі складні моделі, які уможливають знаходження миттєвих значень всіх координат трифазної системи статора і ротора. Для створення таких моделей вихідною системою є диференціальні рівняння миттєвих значень трифазних напруг і струмів статора і ротора з подальшим переходом або до результуючих векторів [1], або до системи рівнянь узагальненої двофазної машини [2] з прийнятими допущеннями.

Поряд з такими моделями для досліджень динамічних і статичних режимів як в навчальному процесі, так і в інженерній практиці використовується спрощене лінійне або лінеаризоване моделювання, яке дає змогу створювати нескладні математичні та наочні структурні моделі для побудови статичних та динамічних характеристик [3]. Здебільшого вони створюються на основі однофазних заступних схем, класичним прикладом чого є формула Клоса механічної характеристики асинхронного двигуна та її різновид.

Задачею досліджень є створення та аналіз комп'ютерних моделей асинхронних двигунів, що отримані на підставі однофазних заступних схем.