

УДК 621.314

ЗНИЖЕННЯ НЕКАНОНІЧНИХ ГАРМОНІК НАПРУГИ НА ВИХОДІ КЕРОВАНИХ ВИПРЯМЛЯЧІВ**Рябенький В.М.**

*доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
optron2@gmail.com*

Трибулькевич С.Л.

*ст. викладач кафедри програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
Lynx.tsl@gmail.com*

Анотація. Проаналізовано основні проблеми, які впливають на якість вихідної напруги керованих випрямлячів. Проведено моделювання роботи керованих випрямлячів при нестабільних режимах роботи мережі. Розроблено удосконалені закони керування, що дозволяють знизити амплітуди гармонік обумовлених несиметрією мережі без використання складних вихідних фільтрів.

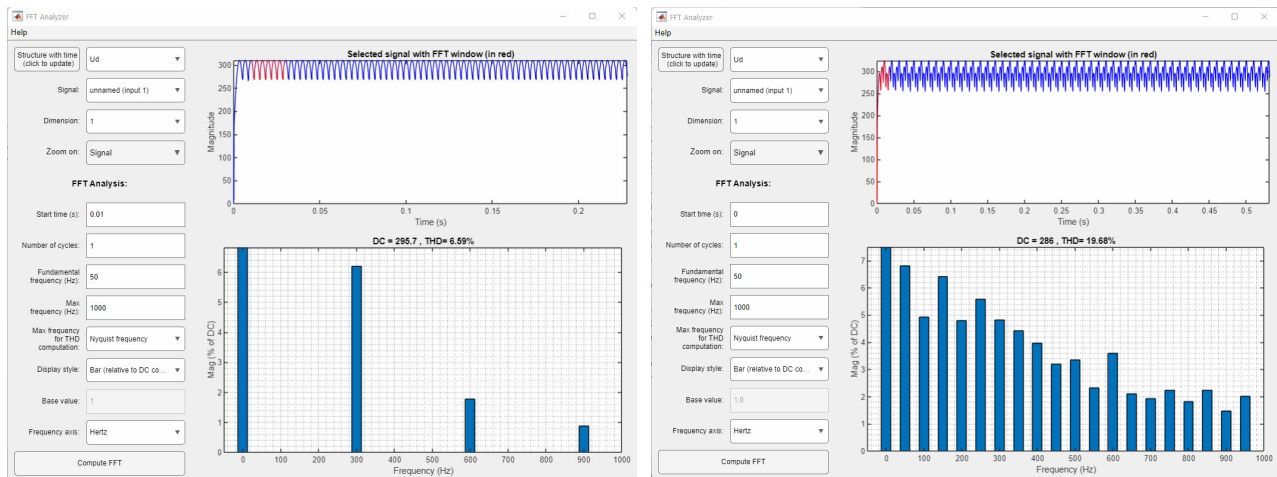
Ключові слова: несиметрія, гармонічний склад, випрямляч, мережа, фільтр, закон керування.

Мета. Розробка законів керування, які дозволять знизити амплітуди неканонічних гармонік без використання складних вихідних фільтрів.

Основна частина. Відомо, що причиною неканонічних гармонік у вихідній напрузі перетворювальних агрегатів постійного струму є фазна несиметрія напруги мережі живлення, спотворення його форми, обумовлене навантаженнями, наприклад, іншими перетворювачами та іншими факторами [1]. Найбільші проблеми створюють відносно низькочастотні неканонічні гармоніки через їх негативний вплив на системи автоматики та пристрої зв'язку. Для їх придушення традиційно використовують складні вихідні фільтри, які включають крім одноланкового Г-подібного LC-фільтра ще і режекторні фільтри на частоті 100 Гц, 200 Гц, 300 Гц і вище, що ускладнює і збільшує встановлену потужність фільтрового електрообладнання [2].

Експериментальні дослідження та дослідження на математичних моделях дозволяють дати оцінку основним видам ушкоджень, що призводять до суттєвого збільшення на виході випрямляча неканонічних гармонік. До таких ушкоджень належать: несиметричне керування тиристорами керованого випрямляча, несиметричність електричних параметрів силового ланцюга перетворювача, блокування (невідмикання) тиристорів. [3]

Результати моделювання (рис. 1, а, б) показують значне збільшення коефіцієнту гармонійних спотворень напруги на виході випрямляча за рахунок появи у спектрі неканонічних гармонік, викликаних несиметрією напруги на вході випрямляча.



а
Рисунок 1 – Спектр вихідної напруги випрямляча

а – при ідеально симетричних напругах живлення, б – в реальних умовах при наявності несиметрії

Зважаючи на нестабільність номінальної напруги автономних мереж кількісною характеристикою несиметрії є коефіцієнт несиметрії, комплексна величина якого визначається формулою

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\dot{U}_{II}}{\dot{U}_I} = \varepsilon \cdot e^{j(\psi_{II} - \psi_I)} = \varepsilon \cdot e^{j\Delta\psi} \quad (1)$$

Амплітуди лінійних напруг мережі живлення $\dot{U}_{AB}$, $\dot{U}_{BC}$, $\dot{U}_{CA}$ пов'язані зі складовими прямої $\dot{U}_I$ та зворотної $\dot{U}_{II}$ послідовностей відомими виразами (рис.1.4):

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AB} &= \dot{U}_I + \dot{U}_{II} \\ \dot{U}_{BC} &= a^2 \dot{U}_I + a \dot{U}_{II} \\ \dot{U}_{CA} &= a \dot{U}_I + a^2 \dot{U}_{II} \end{aligned} \quad (2)$$

Відповідно до поставленого завдання визначення вимог СФУ необхідно проаналізувати умови, за яких система управління забезпечуватиме інваріантність випрямленої напруги на інтервалі дискретності до несиметрії та коливань напруги мережі.

Широко поширені СФУ з рівноінтервальним або синхронним принципами формування керуючих імпульсів навіть у замкнутих структурах не забезпечують інваріантність вихідного параметра перетворювача до перешкод мережі, а СФУ інтегрального типу або не забезпечують необхідного діапазону регулювання, або не інваріантні до несиметрії напруги живлення. Вимоги до інваріантності СФУ впливають з аналізу факторів, що впливають на вихідний параметр, у випадку, що розглядається, на середнє значення випрямленої напруги $U_{d\alpha}$, яке в загальному випадку визначається за формулою:

$$\dot{U}_{d\alpha} = \frac{j}{\pi} \left(- \int_{\alpha_{BC}}^{\pi - \psi_{CA} + \alpha_{AB}} U_{BC} \sin(\omega_0 t - \psi_{AB}) d\omega_0 t + \int_{\pi - \psi_{CA} + \alpha_{AB}}^{\psi_{AB} + \alpha_{AC}} U_{AB} \sin(\omega_0 t) d\omega_0 t - \int_{\psi_{AB} + \alpha_{AC}}^{\pi + \alpha_{BC}} U_{CA} \sin(\omega_0 t + \psi_{CA}) d\omega_0 t \right) \quad (3)$$

Після інтегрування формула (3) набуде вигляду

$$U_{d\alpha} = \frac{1}{\pi} (U_{CA} \cos \alpha_{AB} + U_{AB} \cos \alpha_{BC} + U_{BC} \cos \alpha_{AC}) \quad (4)$$

Для забезпечення інваріантності $U_{d\alpha}$ при зміні амплітуд мережових напруг у СФУ повинні формуватися такі кути α_{AB} , α_{BC} , α_{CA} , щоб складові формули (4) залишалися незмінними, а величина $U_{d\alpha}$ залежала тільки від встановленої напруги управління, тобто. виконувалася умова

$$U_{AB} \cos \alpha_{BC} = U_{BC} \cos \alpha_{AC} = U_{CA} \cos \alpha_{AB} = k_y U_y. \quad (5)$$

Так як у загальному вигляді амплітуда і фаза гармоніки випрямленої напруги залежать від параметрів несиметрії ε і $\Delta\psi$, то очевидно, що для кожного значення випрямленої напруги повинні існувати такі кути регулювання α_{AB} , α_{BC} , α_{CA} фаз А, В, С, при яких амплітуда неканонічної гармоніки, що розглядається, або мала мінімальне значення, або, в ідеальному випадку, дорівнювала б нулю. Що стосується конкретних законів управління, вищесказане можна інтерпретувати так: кожному за поєднання кутів α_{AB} , α_{BC} , α_{CA} , визначених законом роботи СФУ, можна знайти такі значення коригуючих кутів $\Delta\alpha_{AB}$, $\Delta\alpha_{BC}$, $\Delta\alpha_{CA}$, у яких амплітуда гармонік, обумовлених несиметрією мережі, буде мінімальною (рис. 2).

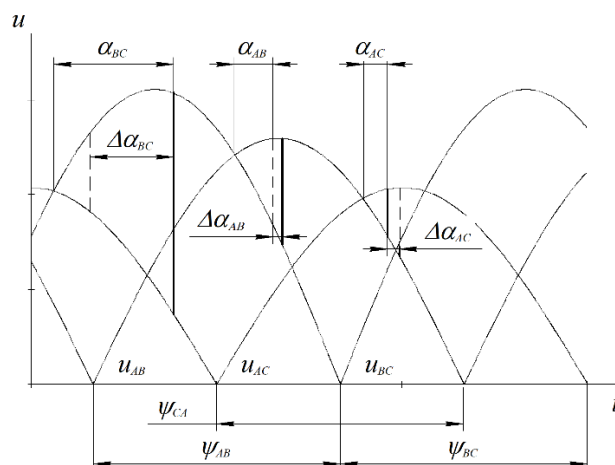


Рисунок 2 – Часові діаграми напруг на вході та виході випрямляча

Розв'язання задачі знаходження кутів $\Delta\alpha_{AB}$, $\Delta\alpha_{BC}$, $\Delta\alpha_{CA}$ базується на наступних двох умовах: а) середнє значення випрямленої напруги при введенні коригувальних кутів залишається незмінним; б) амплітуда пригнічуваної неканонічної гармоніки мінімальна.

При рівноінтервальній СФУ вираз являє собою шуканий закон зміни коригувальних кутів $\Delta\alpha_k$, відповідних лінійних напруг, що забезпечує мінімум неканонічної гармоніки у випрямленій напрузі для режиму перетворювача має вигляд:

$$\begin{aligned}\Delta\alpha_{AB} &= \frac{\varepsilon}{\sin\alpha} \cos\left(\alpha + \Delta\psi_{\varepsilon} - \frac{\pi}{3}\right); \\ \Delta\alpha_{BC} &= \frac{\varepsilon}{\sin\alpha} \cos(\alpha + \Delta\psi_{\varepsilon}); \\ \Delta\alpha_{CA} &= \frac{\varepsilon}{\sin\alpha} \cos\left(\alpha + \Delta\psi_{\varepsilon} + \frac{\pi}{3}\right)\end{aligned}\quad (6)$$

У разі синхронної СФУ зв'язок коригувальних кутів з параметрами несиметрії має вигляд:

$$\begin{aligned}\Delta\alpha'_{AB} &= \frac{\varepsilon}{\sin\alpha} \cos\left(\alpha + \Delta\psi_{\varepsilon} - \frac{\pi}{3}\right) + \psi_{CA} - \frac{2\pi}{3}; \\ \Delta\alpha'_{BC} &= \frac{\varepsilon}{\sin\alpha} \cos(\alpha + \Delta\psi_{\varepsilon}); \\ \Delta\alpha'_{CA} &= \frac{\varepsilon}{\sin\alpha} \cos\left(\alpha + \Delta\psi_{\varepsilon} + \frac{\pi}{3}\right) - \Delta\psi_{AB}\end{aligned}\quad (7)$$

Для інтегральної СФУ

$$\begin{aligned}\Delta\alpha''_{AB} &= \frac{2\varepsilon}{\sin\alpha} \cos\left(\alpha + \Delta\psi_{\varepsilon} - \frac{\pi}{3}\right) - \varepsilon \sin\Delta\psi_{\varepsilon}; \\ \Delta\alpha''_{BC} &= \frac{2\varepsilon}{\sin\alpha} \cos(\alpha + \Delta\psi_{\varepsilon}) + \varepsilon \sin\Delta\psi_{\varepsilon}; \\ \Delta\alpha''_{CA} &= \frac{2\varepsilon}{\sin\alpha} \cos\left(\alpha + \Delta\psi_{\varepsilon} + \frac{\pi}{3}\right) - \varepsilon \sin\Delta\psi_{\varepsilon}\end{aligned}\quad (8)$$

Висновки. За наявності несиметрії мережі у напрузі на виході випрямляча з'являється повний спектр неканонічних гармонік, які негативно впливають на системи автоматики та пристрої зв'язку. Запропоновано удосконалені закони керування, що дозволяють знизити амплітуди гармонік обумовлених несиметрією мережі без використання складних вихідних фільтрів.

ЛІТЕРАТУРА

- [1]. Анисимов Я.Ф. Особенности применения полупроводниковых преобразователей в судовых электроустановках. Л.: Судостроение, 1973. - 232 с.
- [2]. Энергоэффективный преобразовательный агрегат с функциями фильтрации гармоник выходного напряжения тяговой подстанции системы электроснабжения постоянного тока напряжением 3 кВ / В. М. Самсонкин, Н. В. Панасенко, В. В. Божко, Ю. П. Гончаров [и др.] // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 20. – С. 66–72. – DOI: 10.15802/stp2008/16488
- [3]. Бурков А.Т. Электроника и преобразовательная техника: учеб.: в 2 т. М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. Т. 1: Электроника. 480 с. Т. 2: Электронная преобразовательная техника. 307 с.

Rectifier Output Non-Canonical Voltage Harmonics Reduction

Volodymyr Ryabenkij, Serhii Trybulkevich

Department of programmable electronics, electrical engineering and telecommunications, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The main problems that affect the quality of the output voltage of controlled rectifiers are analyzed. Simulation of operation of controlled rectifiers under unstable network operation modes was carried out. Improved control laws have been developed, which allow to reduce the amplitudes of harmonics caused by network asymmetry without the use of complex output filters.

Key words: asymmetry, harmonic composition, rectifier, network, filter, control principle.

УДК 004.946

ТЕХНОЛОГІЇ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА»

Худякова І.М.

кандидат педагогічних наук,

доцент кафедри програмованої електроніки

електротехніки та телекомунікацій

Національного університету кораблебудування

імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

irinakhud@gmail.com

Анотація. В роботі надано обґрунтування актуальності та необхідності включення дисципліни «Розробка додатків віртуальної та доповненої реальності» до навчального процесу студентів технічних спеціальностей. Наведено приклади використання технологій у різних сферах діяльності.

Ключові слова: VR, AR, доповнена реальність, віртуальна реальність, телекомунікації, Blender, Unity, ScetchUp, Unreal Engine.

Сучасний світ в останній період часу вносить свої корективи до багатьох сфер життя. Війна та пандемія перевели в он-лайн такі галузі як освіта, консультації з питань роботи та здоров'я, вирішення виробничих питань та просто спілкування великої кількості людей.

Одними з технологій, які допомагають вирішувати багато комунікативних проблем, є технології віртуальної та доповненої реальності.

Віртуальна реальність VR – це тривимірне середовище, яке генерується за допомогою комп'ютера, з яким користувач може взаємодіяти, повністю або частково в неї занурюючись. Доповнена реальність AR (augmented reality) - це технологія додавання, впровадження в реальне життя, в тривимірне поле сприйняття людини віртуальної інформації, яка сприймається як елементи реального життя.

З урахуванням викликів нашого часу, кафедрою програмованої електроніки, електротехніки та телекомунікацій було запропоновано викладання дисципліни вибіркового циклу «Розробки додатків віртуальної і доповненої реальності». Метою викладання дисципліни «Розробка додатків для віртуальної і доповненої реальності» є залучення студентів в діяльність по створенню додатків віртуальної і доповненої реальності, формування навичок роботи з високотехнологічними пристроями; навчання базовим навичкам розробки програм віртуальної і доповненої реальності.

Ця дисципліна дуже актуальна и дасть можливість випускникам розширити можливості вибору роботи в майбутньому та бути затребуваними спеціалістами.

«Швидкий розвиток світового ринку технологій віртуальної та доповненої реальності (VR/AR) став однією з рушійних сил у секторі інформаційно-комунікаційних технологій. За прогнозом IDC, обсяг світового ринку технологій віртуальної та доповненої реальності