

що визначає внутрішні впливи, в середовищі надсистеми зі своїми системами, які ззовні впливають на НПП.

Підтверджено доцільність використання програмного пакета MATCAD для аналізу електромагнітних процесів та оптимізації параметрів напівпровідникових перетворювачів. Такий підхід дозволяє зменшити нестабільність режимів у технологічному навантаженні та режимів споживання електроенергії від мережі електроживлення.

Список використаних джерел

1. *Макаренко М. П.* Математична модель перетворювача трифазної напруги в постійну напругу / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко // *Електроніка і зв'язь*. – 2002. – № 14. – С. 73–75.

2. *Патент* 18750 Україна. МПК H02M 1/02. Інвертор напруги / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко, В. В. Пілінський ; заявник та власник патенту НТУУ “КПІ” ; заявл. 31.05.2006 ; опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.

3. *Патент* 20985 Україна. МПК H02M 1/02. Модулятор випрямленої напруги / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко ; заявник та власник патенту НТУУ “КПІ” ; заявл. 18.09.2006 ; опубл. 15.02.2007, Бюл. № 2.

УДК 621.3.011.74.005

В.В. Михайленко, канд. техн. наук

Ю.М. Чуняк, асистент

Ю.Ю. Остапчук, студентка

К.А. Ніколаєва, студентка

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У НАПІВПРОВІДНИКОВОМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ШІСТНАДЦЯТИЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ

В.В. Михайленко, канд. техн. наук

Ю.М. Чуняк, асистент

Ю.Ю. Остапчук, студентка

К.А. Николаєва, студентка

Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, г. Киев, Украина

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ С ШЕСТНАДЦАТИЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Vladyslav Mykhailenko, PhD in Technical Sciences

Yuliia Chuniak, assistant

Yuliia Ostapchuk, student

Kateryna Nikolaieva, student

National Technical University of Ukraine “Kyiv Politechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF THE ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN SEMICONDUCTOR CONVERTER WITH SIXTEEN ZONE BY REGULATION OF THE OUTPUT VOLTAGE

Проведено аналіз електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами. Створено математичну модель для аналізу електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги. Наведено графіки, що відображають електромагнітні процеси в електричних колах. Проведено системний аналіз електромагнітних процесів у модуляційному напівпровідниковому перетворювачі з шістнадцятизонним регулюванням вихідної напруги з активно-індуктивним навантаженням. Проведено дослідження електромагнітних процесів у напівпровідниковому перетворювачі модуляційного типу. Ключові елементи були прийняті ідеальними.

Ключові слова: електромагнітні процеси, вихідні напруга та струм.

Проведен анализ электромагнитных процессов в электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами. Создана математическая модель для анализа электромагнитных процессов в полупроводниковых преобразователях с широтно-импульсным регулированием выходного напряжения. Приведены графики, которые отражают электромагнитные процессы в электрических цепях. Проведено системный анализ электромагнитных процессов в модуляционном полупроводниковом преобразователе с шестнадцатизонным регулированием выходного напряжения с активно-индуктивной нагрузкой. Проведено исследование электромагнитных процессов в полупроводниковом преобразователе модуляционного типа. Ключевые элементы были приняты идеальными.

Ключевые слова: электромагнитные процессы, выходные напряжение и ток.

Analysis of the electromagnetic processes is organized beside this article in electric circuit with semiconductor commutator. Mathematical model is created for analysis electro-magnetic processes in semiconductor converter with width pulsed regulation of the output voltage. The broughted graphs, which reflect the electromagnetic processes in electric circuit. The system analysis of the electromagnetic processes is organized in inflexion of the semiconductor converters with sixteen zoned regulations of the output voltage with actively-inductive load. Study of the electromagnetic processes is organized in work in semiconductor converter inflexion type. Key element were ideal.

Key words: electromagnetic processes, output voltage and current.

Перетворення електричної енергії, а також успіхи у розвитку напівпровідникової техніки дозволяють використовувати в перетворювальних установках ланку високої частоти з частотою перемикання вентилів значно більшої від частоти змінної напруги промислової мережі. У роботах [1–3] показана доцільність використання структур перетворювачів частоти (ПЧ) з однократною модуляцією при побудові систем вторинного електропостачання для комплексів діагностики електромеханічних пристроїв із різноманітним видом вхідної енергії. У цій роботі проводиться аналіз аспекту використання тієї ж структури ПЧ як ланки високої частоти, що стосується побудови й аналізу перетворювачів для електромеханічних комплексів із широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) постійної напруги при шістнадцатизонному керуванні.

Метою роботи є використання методу багатопараметричних функцій з використанням пакета MATHCAD для аналізу електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами з шістнадцатизонним регулюванням вихідної напруги.

Структурна схема напівпровідникового перетворювача (НПП) показана на рис. 1. На структурній схемі позначені: СМА, СМВ, СМС – силові модулятори (СМ) фазних напруг А, В і С відповідно, ВВ – високочастотний випрямляч, Н – навантаження. Сукупність СМ, підключених до енергетичної мережі паралельно і з'єднаних по виходу послідовно, являє собою ланку високої частоти перетворювача.

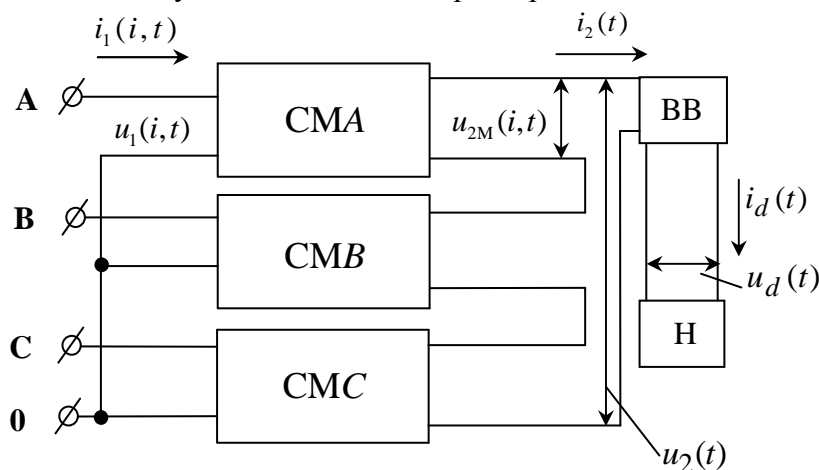


Рис. 1. Структурна схема перетворювача

Таким чином, кожен СМ має у своєму складі N інверторів випрямленої напруги (ІВН), де N – це кількість інверторів.

Створення математичної моделі перетворювача передбачає розроблення математичного забезпечення, спроможного провести аналіз його електромагнітних процесів відносно енергії, яка генерується, з урахуванням характеру навантаження, енергії, яка при

цьому споживається, а також енергії, яка перетворюється в окремих ланках і окремими елементами перетворювача.

Під час складання математичної моделі перетворювача із комп'ютерною орієнтацією її застосування використовуємо метод багатопараметричних модулюючих функцій, який передбачає попереднє представлення алгоритмічного рівняння перетворювача. При цьому приймемо такі припущення: вхідна енергетична мережа симетрична і її внутрішній опір дорівнює нулю, транзистори й діоди ІВН представляються ідеальними ключами, узгоджувальні трансформатори не мають втрат, а навантаження перетворювача має еквівалентний активно-індуктивний характер.

Така структура дозволяє реалізувати багатоканальний спосіб перетворення параметрів електромагнітної енергії мережі, за якого в СМ здійснюється розгалужена модуляція миттєвих значень попередньо випрямлених фазних напруг $u_1(i, t)$, частоти ω_1 , трифазної енергетичної мережі відповідними еквівалентними модулюючими впливами $\psi(p, N, t)$, частоти ω_2 . У результаті такої операції на виході кожного з ІВН формується промодульована напруга

$$u_{2M}(p, i, t) = \frac{1}{k_T} u_1(i, t) \phi(i, t) \psi(p, N, t), \tag{1}$$

де $i = 1, 2, 3$ – номери фаз енергетичної мережі; k_T – коефіцієнт трансформації трансформатора; $p = 1, 2, 3, \dots, N$ – номери зон регулювання; $\phi(i, t)$ – функції прямокутного синуса, що збігається за часом з положенням фазних напруг мережі; $u_1(i, t)$ – миттєві значення вхідної напруги мережі.

Функції прямокутного синуса подаються, як

$$\phi(i, t) = \text{sign} \left\{ \sin \left(\omega_1 t - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right) \right\}, \tag{2}$$

а миттєві значення вхідної напруги мережі представлені у вигляді

$$u_1(i, t) = U_{1m} \sin \left(\omega_1 t - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right), \tag{3}$$

U_{1m} – амплітудне значення фазної напруги, а вихідна напруга $u_H(t)$ подається виразом

$$u_H(t) = \frac{1}{k_T} \sum_{p=1}^{16} \sum_{i=1}^3 u_1(i, t) \phi(i, t) \psi(p, N, t) v(t), \tag{4}$$

де $v(t)$ – функція прямокутного синуса, що збігається за часом з положенням вихідної напруги $u_2(t)$ ланки високої частоти перетворювача.

$$v(t) = \text{sign}(u_2(t)). \tag{5}$$

Струм навантаження знайдемо як реакцію одноконтурного RL -ланцюга на дію напруги (5). Для цього диференціальне рівняння, складене для вихідного контуру перетворювача, представимо у вигляді

$$D(t, y) = \frac{u_H(t)}{L} - \frac{R}{L} y_0, \tag{6}$$

де y_0 – визначається з початкових умов; R і L – відповідно активний опір й індуктивність навантаження.

Рішення (6) відносно струму навантаження визначимо числовим методом у вигляді матриці

$$i_H(t) = \text{rkfixed}(y, 0, k, s, D), \quad (7)$$

де y – вектор початкових умов; $0, k$ – часовий інтервал рішень; s – кількість точок на часовому інтервалі рішень; D – вектор функції диференціальних рівнянь.

Вхідний струм високочастотного випрямляча має вигляд

$$i_2(t) = i_H(t)v(t). \quad (8)$$

Для визначення вхідних струмів інверторів i -х фаз для кожної p -ї зони регулювання врахуємо, що $i_2(t)$ протікає в загальному контурі всіх СМ.

При цьому в загальному вигляді

$$i_1(p, i, t) = \frac{i_2(t)\Psi(\alpha_p, t)\phi(i, t)}{k_T}. \quad (9)$$

Часові діаграми струму навантаження в координатах вихідної напруги перетворювача, побудовані за виразом (7) для шістнадцятизонного регулювання, представлені на рис. 2.

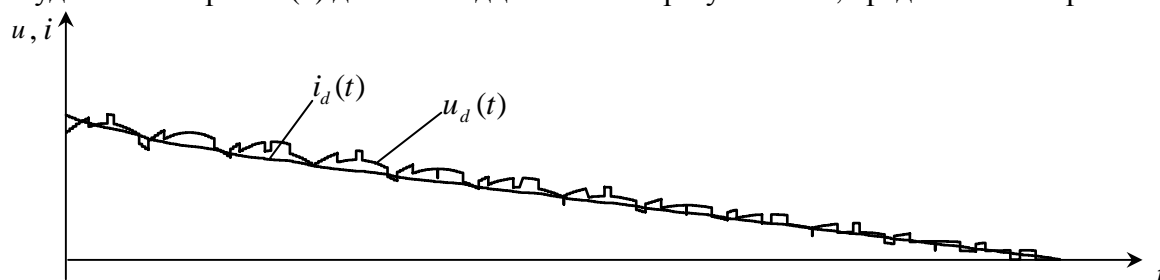


Рис. 2. Часові діаграми струму і напруги навантаження та вхідних струмів інверторів в координатах фазних напруг енергетичної мережі

Для визначення струмів i -х фаз енергетичної мережі у всьому діапазоні регулювання вихідної напруги виконаємо додавання вхідних струмів інверторів усіх зон регулювання в кожній з i -ї фази. Враховуючи рівняння (9), загальний вираз для струмів i -х фаз енергетичної мережі подамо у вигляді

$$i_1(i, t) = i_1(1, i, t) + i_1(2, i, t) + i_1(3, i, t) + i_1(4, i, t) + \dots + i_1(16, i, t), \quad (10)$$

де $i_1(1, i, t)$, $i_1(2, i, t)$, $i_1(3, i, t)$, $i_1(4, i, t)$, $i_1(16, i, t)$ – вхідні струми інверторів i -х фаз для першої, другої, третьої, четвертої та шістнадцятої зон регулювання.

Часові діаграми вхідних струмів i -х фаз енергетичної мережі в координатах фазних напруг, побудовані за (10) для трьохзонного регулювання, представлені на рис. 3.

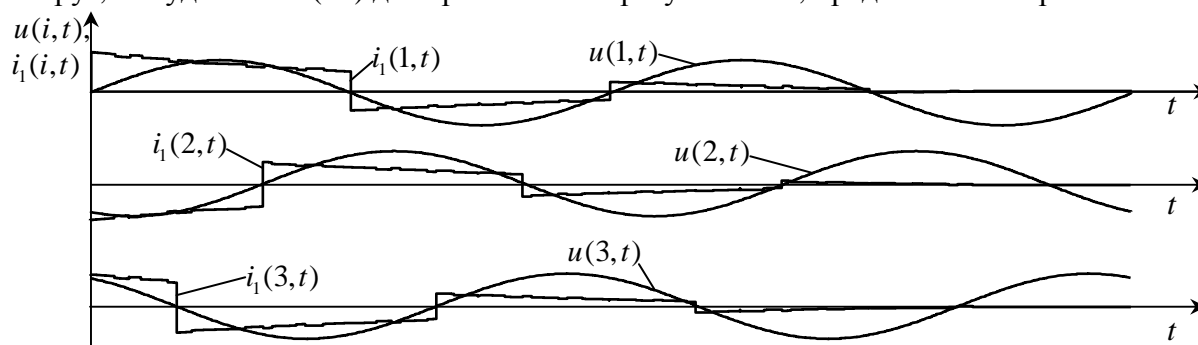


Рис. 3. Часові діаграми вхідних струмів i -х фаз енергетичної мережі в координатах фазних напруг

Системний підхід до аналізу дозволяє на другому його етапі, що характеризує вплив під час руху системи зовнішніх і внутрішніх факторів, провести уточнення попередніх досліджень, беручи до уваги нові припущення, наприклад, відносно неідеальності внутрішніх опорів ключових елементів.

Подальші уточнення під час моделювання процесів можуть відноситись до врахування внутрішніх параметрів мережі живлення щодо їхніх еквівалентних опорів та індуктивностей, зміни внутрішніх параметрів навантаження та комплексного аналізу процесів щодо впливів можливих зовнішніх та внутрішніх факторів.

Висновки і пропозиції. Підтверджено доцільність використання програмного пакета MATCAD для аналізу електромагнітних процесів та оптимізації параметрів напівпровідникових перетворювачів. Такий підхід дозволяє зменшити нестабільність режимів у технологічному навантаженні та режимів споживання електроенергії від мережі електроживлення.

У подальшому можна провести моделювання у декілька етапів з різними початковими припущеннями, розглядаючи НПП як систему зі своєю структурною побудовою, що визначає внутрішні впливи, в середовищі надсистеми зі своїми системами, які ззовні впливають на НПП.

Список використаних джерел

1. *Макаренко М. П.* Математична модель перетворювача трифазної напруги в постійну напругу / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко // *Електроніка і зв'язь*. – 2002. – № 14. – С. 73–75.
2. *Патент* 18750 Україна. МПК H02M 1/02. Інвертор напруги / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко, В. В. Пілінський ; заявник та власник патенту НТУУ “КПІ” ; заявл. 31.05.2006 ; опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.
3. *Патент* 20985 Україна. МПК H02M 1/02. Модулятор випрямленої напруги / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко ; заявник та власник патенту НТУУ “КПІ” ; заявл. 18.09.2006 ; опубл. 15.02.2007, Бюл. № 2.

УДК 621.3.038.616

А.Л. Приступа, канд. техн. наук

А.В. Галюга, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОЦІНЮВАННЯ ДІЮЧИХ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

А.Л. Приступа, канд. техн. наук

А.В. Галюга, аспірант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ОЦЕНКА ДЕЙСТВУЮЩИХ МЕТОДИК РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Anatolii Prystupa, PhD in Technical Sciences

Andrii Haliuha, PhD student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

EVALUATION OF EXISTING METHODS OF CALCULATION OF TECHNOLOGICAL ELECTRIC POWER LOSSES IN DISTRIBUTIVE ELECTRIC NETWORKS

Описано основні методики розрахунків та нормування технологічних витрат електричної енергії в діючих розподільних електричних мережах, висвітлено їх основні недоліки. Проведено порівняльний аналіз методик, визначено основні проблеми та подальші шляхи дослідження, спрямовані на підвищення точності нормування технологічних витрат електричної енергії, а саме врахування під час розрахунків зміни механічних характеристик провідників.

Ключові слова: технологічні витрати електричної енергії, активний опір проводу, математична модель.

Описаны основные методики расчетов и нормирования величины технологического расхода электрической энергии в действующих распределительных электрических сетях, отмечены их основные недостатки. Проведен сравнительный анализ методик, определены основные проблемы и дальнейшие пути их исследования, направленные