

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ НА МОДЕЛІ В MatLab ГАРМОНІЧНОГО СКЛАДУ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ ЕЛЕКТРОННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ З РІЗНИМИ СПОСОБАМИ КЕРУВАННЯ ПРИ РОБОТІ НА АКТИВНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

Голодний І. М.¹, Санченко О. В.²

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України,

²Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
"Немішайвський агротехнічний коледж"

Проведено порівняльний аналіз гармонічного складу вихідної напруги напівпровідникових перетворювачів двох типів з різними способами керування: фазо-імпульсним та широтно-імпульсним. Наведено моделі напівпровідникових перетворювачів та результати дослідження спектрального складу їх вихідної напруги при роботі на активне навантаження.

Постановка проблеми. Сучасні напівпровідникові перетворювачі напруги мають складні системи керування, в яких проходять швидкі електромагнітні процеси. Традиційні методи розрахунку цих процесів складні, або вирішуються тільки наближено. Використання числових методів на базі комп'ютерних технологій набагато спрощує і прискорює такі дослідження. У зв'язку з чим аналіз спектрального складу вихідної напруги електронних перетворювачів при вибраному способі керування проводився з використанням положень теорії електричних кіл синусоїдального і несинусоїдального періодичного струму та комп'ютерного моделювання в системі MatLab.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В попередніх дослідженнях [1] показано, що для регульованого малопотужного асинхронного електропривода за собівартістю перевагу мають напівпровідникові перетворювачі напруги. Недолік таких пристроїв в тім, що вони генерують в мережу живлення імпульси напруги та вищі гармоніки. Якість електроенергії залежить від способу керування перетворювачами. Для підтвердження цього положення в даній роботі на комп'ютерних моделях перетворювачів з різними ал-

горитмами керування проведено порівняльний аналіз спектрального складу вихідної напруги (напруги на навантаженні).

Мета дослідження. Покращення якості гармонічного складу вихідної напруги напівпровідникових перетворювачів.

Основні матеріали дослідження. Для аналізу форми кривої вихідної напруги вибрано два перетворювачі напруги: з фазо-імпульсним, та з широтно-імпульсним керуванням.

На рис. 1 наведено перетворювач напруги з фазо-імпульсним керуванням. Силове коло перетворювача складається з джерела змінної напруги AC Voltage Source, двох тиристорів Thyristor і Thyristor 1, з'єднаних зустрічно-паралельно та активного навантаження Series RLC Branch.

Активний опір в навантаженні складає 190 Ом, параметри тиристорів наведені на рис. 2, параметри однофазного джерела синусоїдальної напруги наступні:

амплітуда напруги – 530 В;

частота струму – 50 Гц.

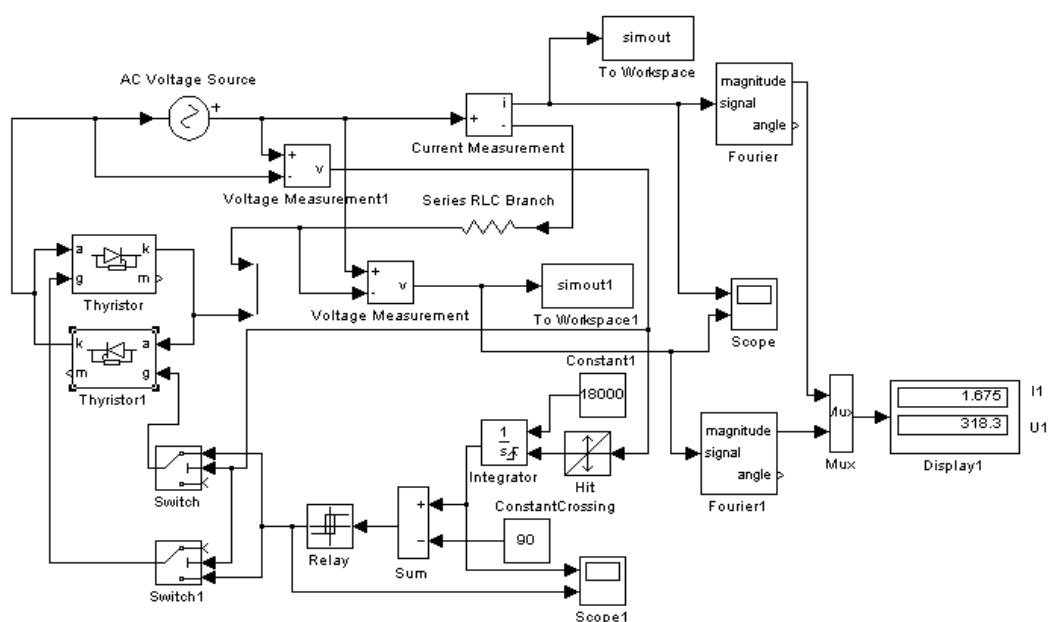


Рисунок 1 – Перетворювач напруги з фазо-імпульсним керуванням

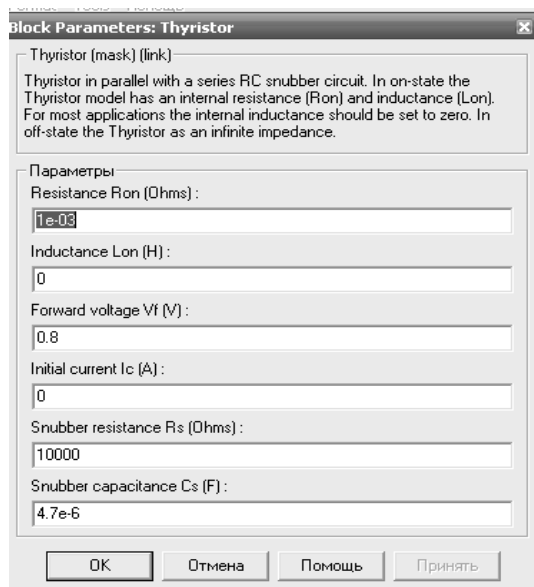


Рисунок 2 – Вікно настройки параметрів тиристорів

Схема керування тиристорами складається з блоків Constant 1, Hit Crossing, Integrator, які реалізують генератор пилкоподібної напруги відповідно до функціональної схеми [2, рис. 3.31]. Цей генератор через узгоджуючий блок Voltage Measurement 1 керується від мережі живлення AC Voltage Source. Блоки Sum і Relay реалізують формувач імпульсів, а блоки Switch, Switch 1 – розподільник імпульсів, сигнали яких поступають на керуючий вхід "g" тиристорів. Вказані блоки працюють так: якщо сигнал керування, що подається на вхід, більший за сигнал порогового значення, то на вихід блока надходить сигнал з першого (верхнього) входу, а коли сигнал керування менший порогового значення, то на вихід блока буде надходити сигнал з другого (нижнього) входу.

Вхідний сигнал керування створюється блоком Constant, величина константи відповідає куту відкриття тиристора α . Від значення кута відкриття тиристорів залежить величина напруги на виході перетворювача. Дослідження проводились при $\alpha = 90^\circ$.

В схемі керування тиристорами використано інтегруючий блок (Integrator) із зовнішнім скиданням сигналу до нульового значення. Integrator працює так: вхідний постійний сигнал від блока Constant перетворюється інтегратором у лінійно змінний. При надходженні сигналу від блока Hit Crossing (момент, коли синусоїда напруги джерела живлення має нульове значення) на порт зовнішнього скидання f інтегратора відбудеться скидання вихідного сигналу інтегратора до початкового нульового значення. В результаті на виході інтегратора формується пилкоподібний сигнал, синхронізований з синусоїдою напруги джерела живлення (рис. 3, верхня діаграма).

Релейний блок Relay створює релейну нелінійність, а вихідний сигнал блока може приймати два значення. Одне з них відповідає ввімкненому стану реле, друге – вимкненому. Перехід від одного стану в інший відбувається стрибком при досягненні вхідним сигналом порогу вмикання або вимикання реле. На часовій діаграмі (рис. 3) видно, що вмикання реле відбувається при досягненні сигналу пилкоподібної

напруги величини 90, а вимикання при 0. Величина сигналу у ввімкненому стані дорівнює 1, а у вимкненому 0.

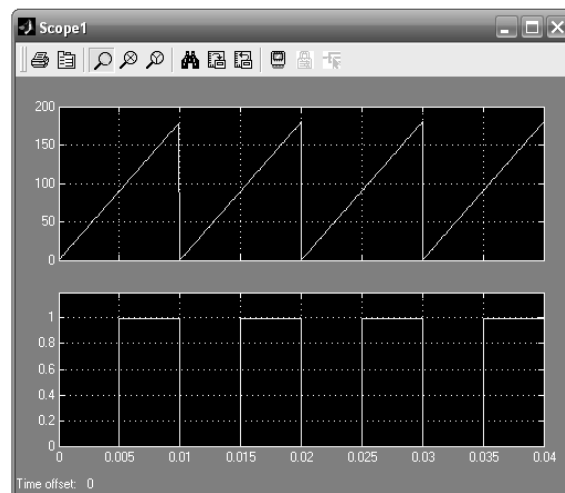


Рисунок 3 – Часові діаграми пилкоподібної напруги (верхня) та релейного елемента (нижня)

Блоки Fourier і Fourier 1 призначені для вимірювання складових гармонік струму і напруги на виході регулятора, амплітудні значення яких виведені на Display 1. У вікні налаштування параметрів блоків Fourier і Fourier 1 вказують одиничну величину для вимірювання амплітуду першої гармоніки.

Блок Scope призначений для вимірювання миттєвих значень струму і напруги на навантаженні, величини яких наведено рис. 4.

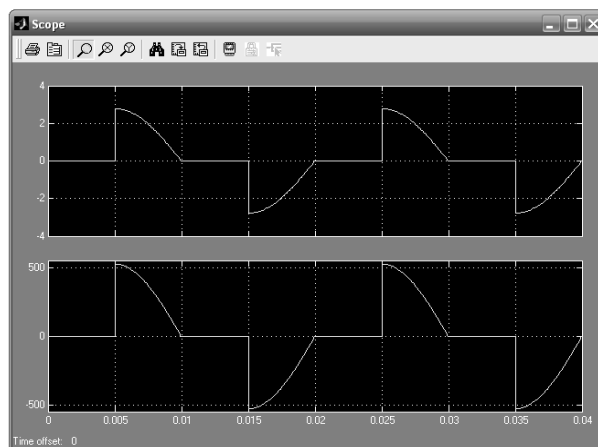


Рисунок 4 – Графіки миттєвих значень струму (верхній) та напруги (нижній) на навантаженні

З графіків видно, що форми кривих струму і напруги однакові, оскільки перетворювач працює на активне навантаження, а тиристори відкриваються в момент, що відповідає четвертій періоду, тобто $\alpha = 90^\circ$.

Блоки To Workspace і To Workspace 1 призначені для передачі досліджуваного сигналу в робочий простір MatLab з наступною обробкою пакетом розширення Signal Processing Toolbox [3] для дослідження гармонічного спектру струму і напруги споживання.

Модель напівпровідникового перетворювача з широтно-імпульсним керуванням наведено на рис. 5. В складі силового блоку перетворювача є діодний міст Universal Bridges, в діагональ змінної напруги якого послідовно увімкнено джерело змінної напруги AC Voltage Source і активне навантаження Series RLC

Branch. В діагональ постійної напруги увімкнений силовий транзистор IGBT, який виконує роль ключа для вмикання і вимикання силового кола.

Вікна налаштування параметрів блоків діодного мосту Universal Bridges і транзистора IGBT наведено на рис. 6.

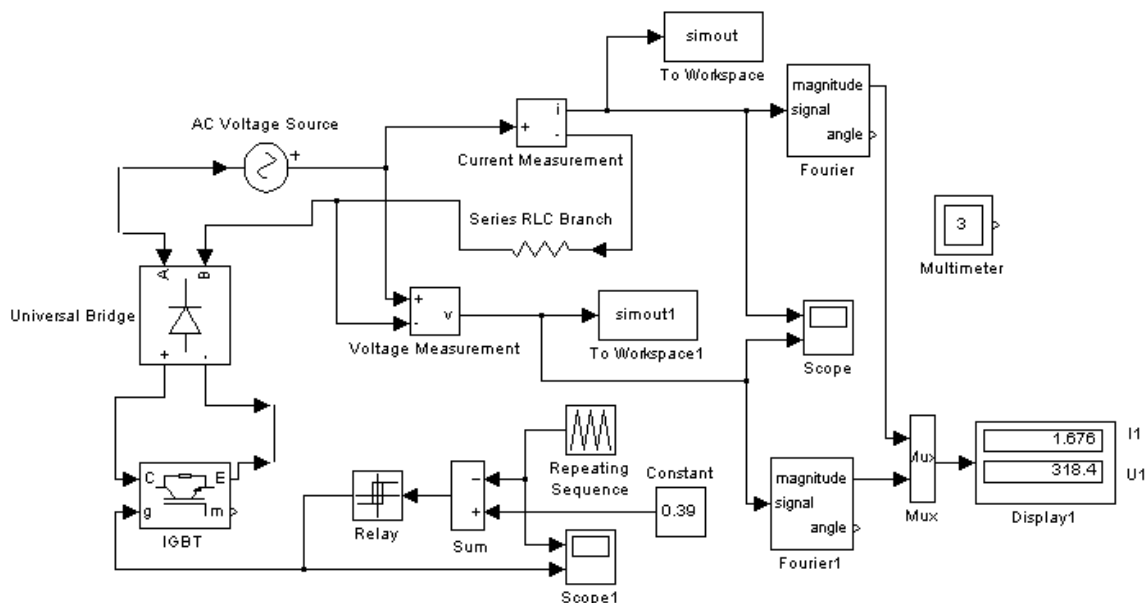


Рисунок 5 – Модель перетворювача напруги з широтно-імпульсним керуванням

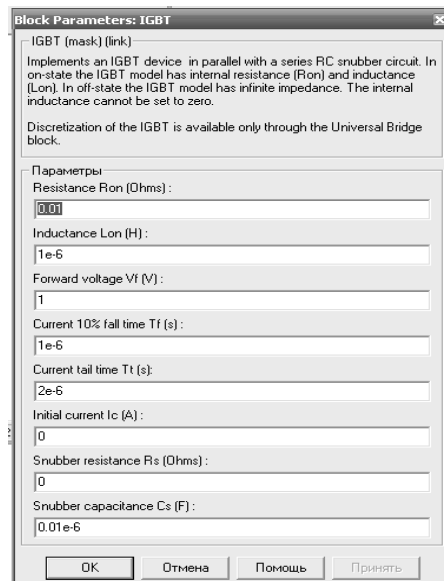
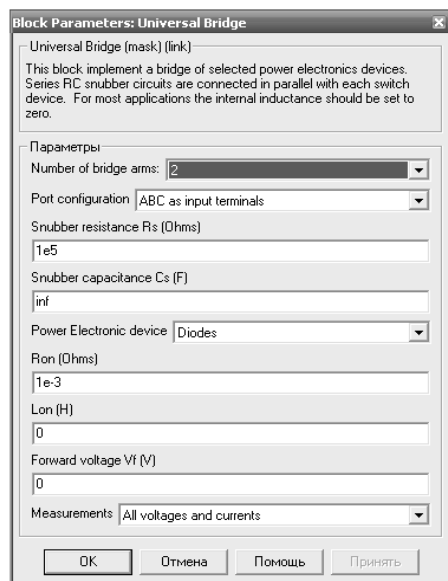


Рисунок 6 – Вікна налаштування параметрів діодного мосту (а) та транзистора (б)

Модель схеми керування транзистором перетворювача напруги реалізована відповідно до функціональної схеми [2, рис.3.62, а] і складається з блоків Repeating Sequence, Constant, Sum, Relay. Блок Repeating Sequence реалізує генератор пилоподібної напруги з амплітудою 2 і періодом $T_0 = 0,002$ с ($f_0 = 500$ Гц), при цьому пилка симетрична відносно нульового значення (рис. 7). Призначення блоку Relay аналогічне як і в попередній моделі. Вихідні імпульси з блока Relay (рис. 7) поступають на керуючий вхід "g" транзистора.

Ширину керуючого сигналу задає константа блоку Constant. Від ширини керуючого сигналу залежить величина вихідної напруги. При значенні константи 2 вихідна напруга дорівнює напрузі джерела живлення $U_{ж}$, при $0 - U_{ж}/2$, при мінус 2 – нулю. В останньому випадку транзистор закритий.

Миттєві значення струму та напруги на навантаженні записує блок Scope (рис. 8). З рисунка видно, що синусоїда напруги живлення вирізається не двічі, як у попередній моделі, а 10 разів.

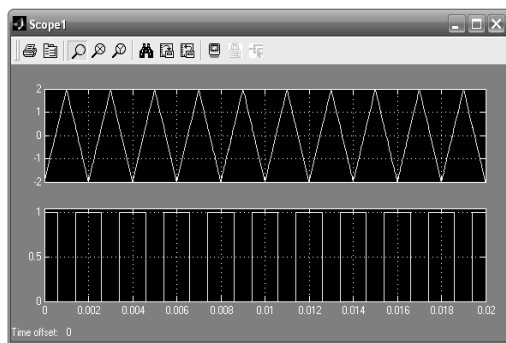


Рисунок 7 – Форми пилоподібної напруги та керуючих імпульсів в моделі з широтно-імпульсним керуванням

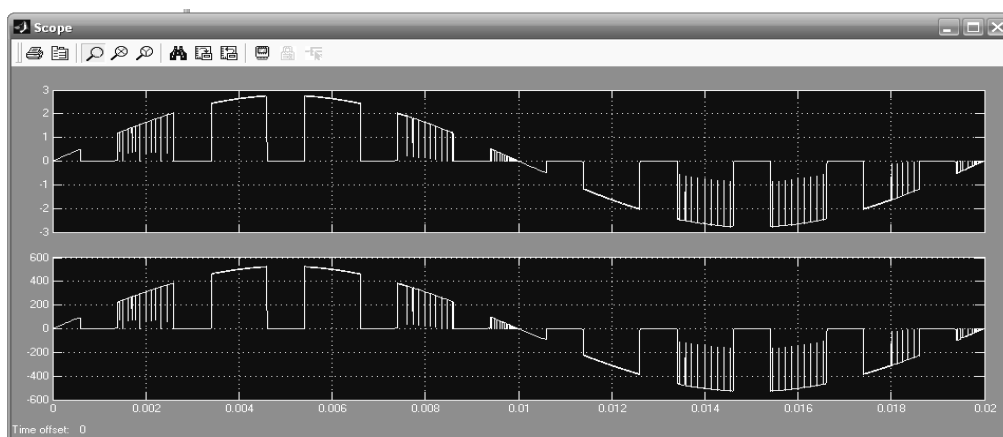


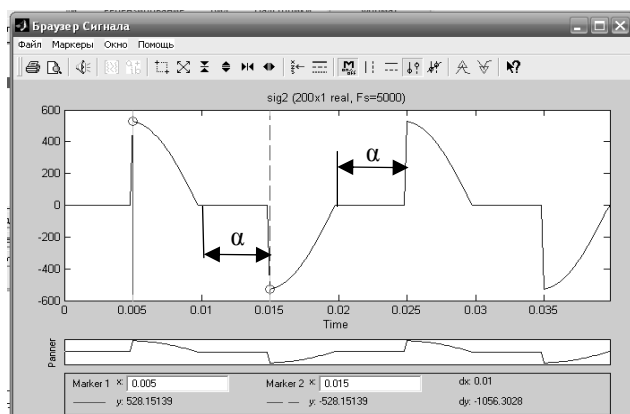
Рисунок 8 – Графіки миттєвих значень струму (верхній) та напруги (нижній) на навантаженні

На другій моделі перетворювача відповідна вихідна напруга ($U_m = 318,4$ В, блок Display 1, рис. 5) створена вхідним керуючим сигналом, рівним 0,39 (блок

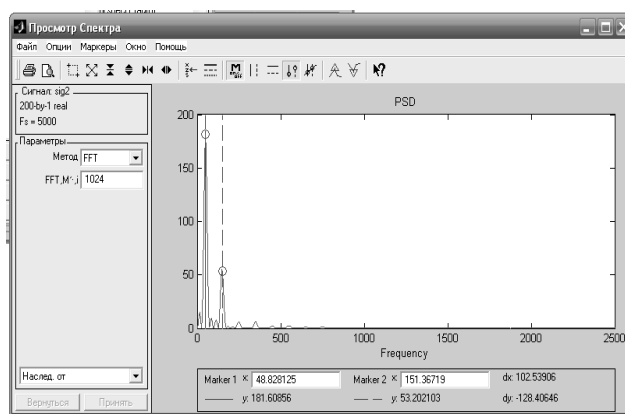
Призначення решти блоків моделі (рис. 5) аналогічне попередній.

Дослідження спектрального складу проводився при однакових значеннях вихідної напруги перетворювачів. При цьому кут відкриття тиристорів на першій моделі перетворювача дорівнював $\alpha = 90^\circ$, відповідно амплітуда вихідної напруги $U_m = 318,3$ В (блок Display 1, рис.1). Відхилення амплітуди вихідної напруги перетворювача від середнього значення амплітуди напруги джерела живлення пояснюється впливом зворотної напруги, що створювалась демпферними колами напівпровідникових елементів.

Constant, рис. 5). Результати досліджень наведені на рис. 9 та 10.



а

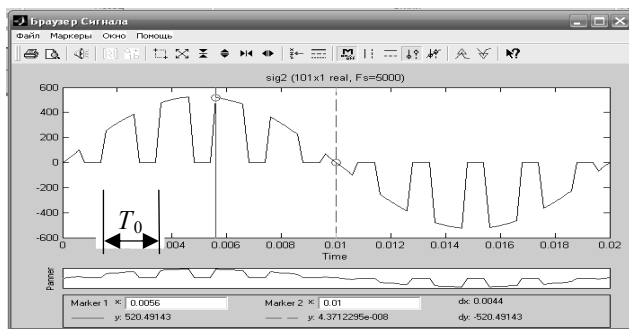


б

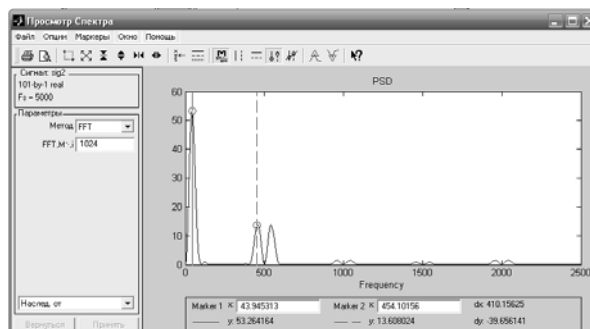
Рисунок 9 – Форма кривої (а) та спектральний склад (б) вихідної напруги перетворювача з фазо-імпульсним керуванням

З рис. 9, а видно, що синусоїда вихідної напруги перетворювача з фазо-імпульсним керуванням вирізана на величину кута відкриття тиристорів α (рис. 9, а). В гармонічному складі напруги присутні непарні (1, 3, 5, 7 і т.д.) гармоніки (рис. 9, б), що відповідає теорії електричних кіл [4]. Синусоїда вихідної напруги перетворювача з широтно-імпульсним керуванням порізана з періодом $T_0 = 0,002$ с, який складається з

часу ввімкненого і вимкненого стану силового транзистора (рис. 10, а). Вищі непарні гармоніки вихідної напруги (9, 11, 19, 21, 29, 31 і т.д.) проявляються біля частоти, кратних частоті пилоподібної напруги ($f_0 = 500$ Гц), що відповідає спектру вихідної напруги автономного інвертора з широтно-імпульсним симетричним керуванням при роботі на активне навантаження [3].



а



б

Рисунок 10 – Форма кривої (а) та спектральний склад (б) вихідної напруги перетворювача з широтно-імпульсним керуванням

Струм навантаження залежить від параметрів кола навантаження. При активному навантаженні форми кривих вихідної напруги і струму перетворювачів однакові, а відповідно і спектральний склад буде аналогічним.

При активно-індуктивному навантаженні вищі гармоніки будуть суттєво подавлятися. І чим більша частота гармоніки, тим менший струм буде проходити через індуктивну обмотку, що витікає з формули:

$$I_m = U_m / \nu \omega L,$$

де U_m , I_m – амплітудне значення напруги і струму;

ν – номер гармоніки;

ω – кутова частота основної (першої) гармоніки;

L – індуктивність.

Тому, збільшуючи частоту пилкоподібної напруги, можна збільшити величину вищих гармонік і відповідно зменшити їхню долю в струмі навантаження, але одночасно збільшується частота комутації силового транзистора, а значить і втрати в ньому. Вибір оптимальної частоти комутації транзистора є задачею подальших досліджень.

Висновок. Дослідженнями на моделях підтверджено, що вихідна напруга перетворювача з фазо-імпульсним керуванням в своєму спектральному складі має вищі непарні гармоніки 3-ю, 5-у, 7-у і т.д., вихідна напруга перетворювача з широтно-імпульсним керуванням – вищі непарні гармоніки 9-у, 11-у, 19-у, 21-у і т.д. при частотах, кратних частоті пилкоподібної напруги.

Список використаних джерел

1. Голодний І. М. До питання регулювання швидкості малопотужного асинхронного електропривода / І. М. Голодний, О. В. Санченко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія "Техніка та енергетика АПК". – К., 2011. – Вип. 166, Ч.4 – С. 64-70.

2. Регульований електропривод. Теорія. Моделювання: [підручник для студ. вищ. навч. закладів] / І. М. Голодний, Ю. М. Лаврінченко, М. В. Синявський та ін.; за ред. І. М. Голодного. – К.: Аграр Медіа Груп, 2011. – 513 с.

3. Герман-Галкин С. Г. Силовая электроника: Лабораторные работы на ПК: [учебное пособие для студ. вузов] / С. Г. Герман-Галкин. – СПб: КОРОНА принт, 2002. – 304 с.

4. Основы теории цепей: [учебник для студентов вузов] / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхов. – М.: Энергия, 1975. – 752 с.

Аннотация

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НА МОДЕЛИ В MatLab ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА ВЫХОДНОГО НАПЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ НА АКТИВНУЮ НАГРУЗКУ

Голодний И. М., Санченко А. В.

Проведен сравнительный анализ гармонического состава выходного напряжения полупроводниковых преобразователей двух типов с разными способами управления: фазо-импульсным и широтно-импульсным управлением. Приведены модели полупроводниковых преобразователей и результаты исследований спектрального состава их выходного напряжения при работе на активную нагрузку.

Abstract

COMPARATIVE ANALYSIS ON MODEL IN Matlab OF HARMONIC COMPOSITION OF OUTPUT TENSION OF ELECTRONIC TRANSFORMERS With DIFFERENT METHODS OF MANAGEMENT DURING WORK ON ACTIVE LOADING

I. Golodny, A. Sanchenko

The comparative analysis of harmonic composition of output tension of semiconductor transformers of two types is conducted with the different methods of management: fazo-impulsive and latitudinal-impulsive management. The models of semiconductor converters and the results of studies of the spectral composition of the output tension.