

СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ СТУМУ ЖИВЛЕННЯ RL-НАВАНТАЖЕННЯ З РЕГУЛЯТОРОМ НАПРУГИ НА БАЗІ ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

*І. М. Голодний, кандидат технічних наук, доцент
Білоцерківський національний аграрний університет*

E-mail: golodnyi@ukr.net

О. В. Санченко, кандидат технічних наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: sansash@ukr.net

Анотація. Широтно-імпульсні регулятори напруги набувають все більшого використання в промисловості, особливо в регульованих електроприводах. У той же час в області електромагнітної сумісності (спектрального складу струму споживання) мало проведено досліджень з даними регуляторами.

Мета дослідження – визначення за допомогою комп'юторного моделювання несинусоїдальності струму споживання з RL-навантаженням і регулятором напруги на базі широтно-імпульсного перетворювача.

Дослідження спектрального складу струму живлення активно-індуктивного навантаження з широтно-імпульсним регулятором напруги проводився з використанням положень теорії електричних кіл синусоїдального і несинусоїдального періодичного струму та використанням комп'ютерного моделювання.

Для проведення спектрального складу струму живлення RL-навантаження з вибраним регулятором напруги була створена імітаційна комп'ютерна модель, яка складалась з трифазного джерела живлення і RL-навантаження та випрямляча з транзисторним ключем. Регулювання прикладеної напруги на споживачі проводилось за принципом широтно-імпульсного перетворювача напруги.

У результаті дослідження на імітаційній комп'ютерній моделі регульованого джерела живлення на базі широтно-імпульсного перетворювача і роботі на активно-індуктивне навантаження встановлено, що навіть з вихідною напругою регулятора основної гармоніки в 34 В несинусоїдальність струму споживання складає 0,19 %, що відповідає стандарту якості на електроенергію.

Цей регулятор доцільно використовувати для регульованого електропривода вентиляційних систем з двигуном підвищеного ковзання, наприклад, в установках "Клімат-4М".

Ключові слова: напівпровідниковий перетворювач напруги, широтно-імпульсний перетворювач, вищі гармоніки, RL-навантаження

Актуальність. Сучасні напівпровідникові перетворювачі набувають все більшої популярності в промисловості. У той же час мало проведено досліджень з визначення спектрального складу струму споживання. Тому визначення гармонічного складу струму споживання є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У попередніх дослідженнях [1] проводився якісний аналіз гармонічного складу вихідної напруги однофазного перетворювача на базі широтно-імпульсного регулювання, але кількісної оцінки не зроблено.

Мета дослідження – визначення за допомогою комп'ютерного моделювання несинусоїдальності струму споживання з RL-навантаженням і регулятором напруги на базі широтно-імпульсного перетворювача.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження спектрального складу струму живлення активно-індуктивного навантаження з широтно-імпульсним регулятором напруги проводився з використанням положень теорії електричних кіл синусоїдального і несинусоїдального періодичного струму та використанням комп'ютерного моделювання.

Результати досліджень та їх обговорення. Для проведення спектрального складу струму живлення RL-навантаження з вибраним регулятором напруги була створена імітаційна комп'ютерна модель (рис. 1). Трифазне джерело живлення, яке складається з трьох однофазних джерел (AC Voltage Source), амплітуди напруг яких зсунуті на 120° відносно одна одної, через активно-індуктивне навантаження (Series RLC Branch) подає напругу на трифазний нерегульований випрямляч (Universal Bridge). При вмиканні транзисторного ключа (IGBT) у колі постійного струму за допомогою генератора імпульсів (Pulse Generator) у навантаженні проходить струм. Середнє значення підведеної напруги до навантаження регулюється тривалістю ввімкненого стану транзисторного ключа. Частота вмикання і тривалість роботи ключа задається у вікні настройки генератора імпульсів.

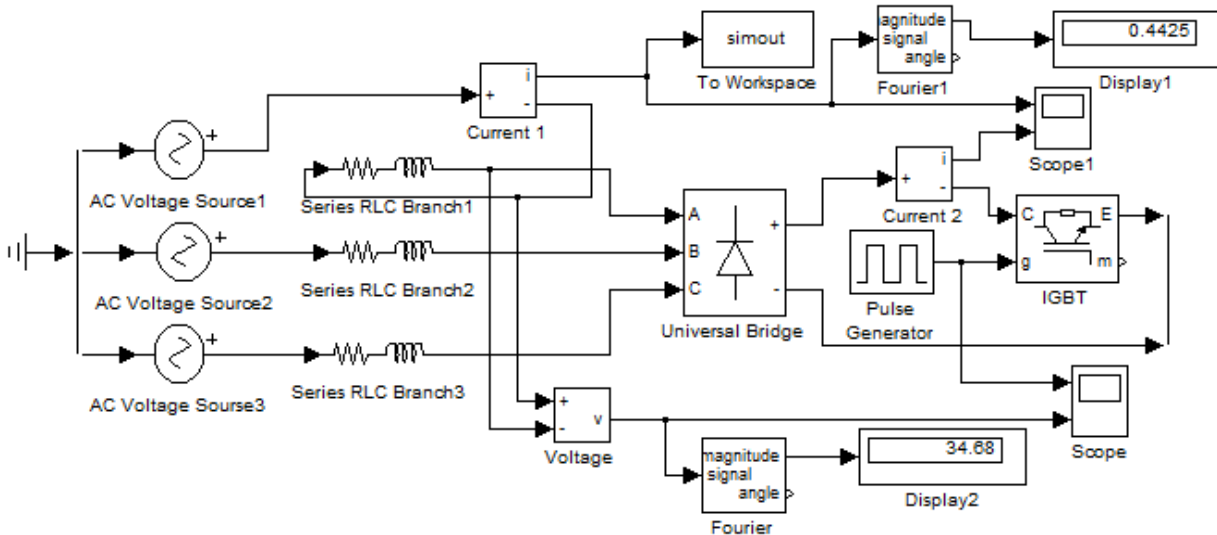
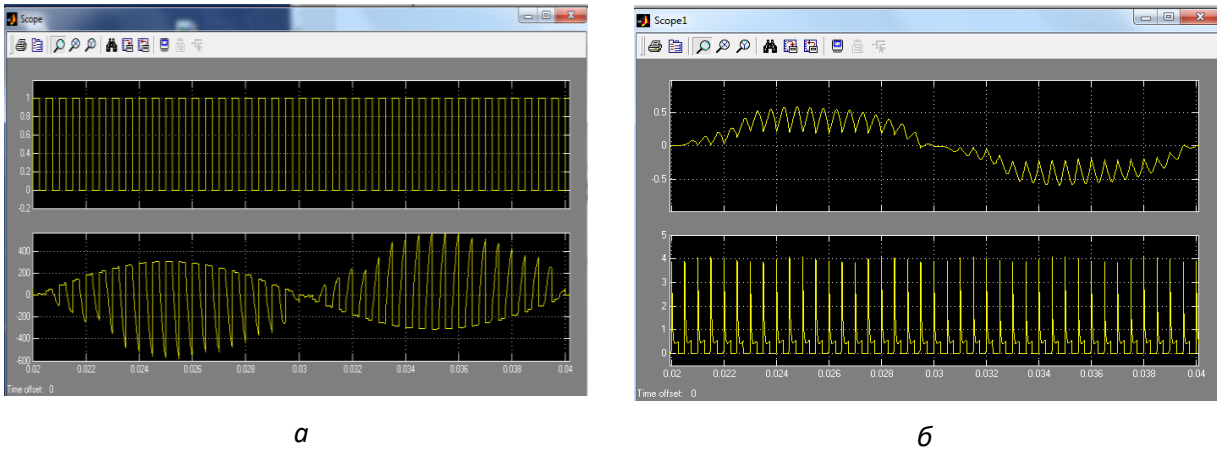


Рис. 1. Імітаційна комп'ютерна модель для дослідження спектрального складу споживаного струму

Дослідження моделі проводилось при частоті комутації транзисторного ключа $f_k = 2000$ Гц і тривалості вмикання $T_B = 50\%$. Амплітуда фазної напруги живлення $U_m = 310$ В. Параметри навантаження ($R = 47,9$ Ом, $L = 197$ мГн) відповідають обмоточним даним двигуна АИРП80-А6У2, який використовується для регульованого електропривода осьового вентилятора ВО-7,1М. Регулювання швидкості двигуна проводиться зміною підведеної напруги живлення. Таким чином, результати досліджень приведеної імітаційної моделі можна поширити на регульований електропривод з вентиляторним навантаженням.

З осцилограм видно, що напруга в навантаженні порізана на ділянки згідно роботи транзисторного ключа (рис. 2, а) і за рахунок наявності в навантаженні індуктивності має імпульси зворотної напруги. Обмеження величини зворотної напруги задається параметрами демпферного вузла у вікні настройки випрямляча Universal Bridge і транзисторного ключа IGBT. Величина амплітуди основної гармоніки (50 Гц), яка залежить від тривалості вмикання транзистора, рівна 34 В (блок Display 2, рис. 1).



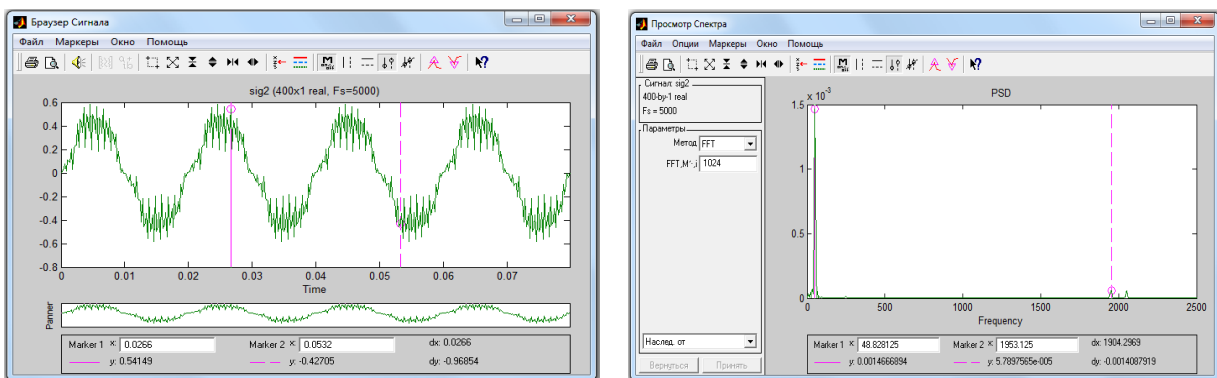
а

б

Рис. 2. Миттєві значення напруги і струму:

а – миттєві значення напруги (верхня діаграма для генератора імпульсів, нижня діаграма – спад напруги в навантаженні; б – миттєві значення струму (верхня діаграма – струм живлення, нижня діаграма – струм у колі транзисторного ключа)

Струм споживання (рис. 2, б) має деяке спотворення форми синусоїди, що призводить до появи вищих гармонік, це 39-ої і 41-ої (рис. 3, б). Вищі гармоніки з'являються в районі комутації транзисторного ключа $f_k = 2000$ Гц (вища гармоніка $\nu = 40$), що відповідає спектру вихідного струму автономного інвертора з широтно-імпульсним керуванням [2].



а

б

Рис.3. Форма кривої (а) та спектральний склад (б) струму живлення

Несинусоїдальність струму можна охарактеризувати коефіцієнтом гармонік (THD – Total Harmonic Distorsion)

$$THD = \frac{\sqrt{I_{m1}^2(39) + I_{m1}^2(41)}}{I_{m1}(1)},$$

де $I_{m1}(1)$, $I_{m1}(39)$, $I_{m1}(41)$ – амплітудне значення струму споживання 1, 39 і 41-ою гармоніками.

Для визначення іменованих значень струму в амперах користуємось виразом

$$I_{m1}(v) = \frac{y_v}{v y_1} I_{m1}(1), \text{ А},$$

де $I_{m1}(v)$ – амплітуди гармонік струму в амперах; y_1 , y_v – значення, визначені з рис. 3, б; $I_{m1}(1)$ – струм першої гармоніки, визначений з Display 1.

Для нашого випадку

$$I_{m1}(39) = \frac{5,79 \cdot 10^{-5}}{39 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}} 0,443 = 0,043 \cdot 10^{-2} \text{ А}.$$

$$I_{m1}(41) = \frac{5,79 \cdot 10^{-5}}{39 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}} 0,443 = 0,043 \cdot 10^{-2} \text{ А}.$$

$$THD = \frac{\sqrt{(0,043 \cdot 10^{-2})^2 + (0,043 \cdot 10^{-2})^2}}{0,443} = 0,19 \cdot 10^{-2}.$$

Таким чином, несинусоїдальність струму споживання складає 0,19 %. За стандартом на якість електроенергії проводиться аналіз за сумарним вмістом вищих гармонік до 40-ї, який не повинен перевищувати 3 % відносно основної.

Висновки і перспективи. При використанні регульованого джерела живлення на базі широтно-імпульсного перетворювача і роботі на активно-індуктивне навантаження навіть з вихідною амплітудною напругою регулятора основної гармоніки в 34 В несинусоїдальність струму споживання складає 0,19 %, що відповідає стандарту якості на електроенергію.

Цей регулятор доцільно використовувати для регульованого електропривода вентиляційних систем з двигуном підвищеного ковзання, наприклад, в установках "Клімат-4М".

Список використаних джерел

1. Голодний І. М., Санченко О. В. Порівняльний аналіз на моделі в MatLab гармонічного складу вихідної напруги електронних перетворювачів з різними способами керування при роботі на активне навантаження. Вісник Харківського технічного університету ім. П.Василенка. Технічні науки. Випуск 129 "Проблеми

енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". Харків, ХНТУСГ, 2012. С. 74-78.

2. Герман-Галкин С.Г. Силовая электроника. Санкт-Петербург: КОРОНА принт, 2002. 304 с.

References

1. Holodnyi, I.M., Sanchenko, O.V. (2012) Porivnialnyi analiz na modeli v MatLab harmonichnoho skladu vykhidnoi napruhy elektronnykh peretvoriuvachiv z riznymy sposobamy keruvannia pry roboti na aktyvne navantazhennia [Comparative analysis model in MatLab harmonic of output voltage electronic transformers of different ways to manage when working on active load]. Visnyk Kharkivskoho tekhnichnoho universytetu im. P.Vasylenka. Tekhnichni nauky. "Problemy enerhozabezpechennia ta enerhozberezhennia v APK Ukrainy". Kharkiv, 129, 74–78.

2. German-Galkin, S. G. (2002). Power Electronics: Laboratory work on the PC: [Sylova elektronika: laboratorni roboty na PK]. St. Petersburg: CROWN print, 304.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОКА ПИТАНИЯ RL-НАГРУЗКИ С РЕГУЛЯТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ НА БАЗЕ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

И. М. Голодный, А. В. Санченко

Аннотация. *Широтно-импульсные регуляторы напряжения находят все большее применение в промышленности, особенно в регулируемых электроприводах. В то же время в области электромагнитной совместимости (спектрального состава тока потребления) мало проведено исследований.*

Цель исследования - определение с помощью компьютерного моделирования несинусоидальности тока потребления с RL-нагрузкой от регулятора напряжения на базе широтно-импульсного преобразования.

Исследование спектрального состава тока питания активно-индуктивной нагрузки с широтно-импульсным регулятором напряжения проводилось с использованием положений теории электрических цепей синусоидального и несинусоидального периодического тока с использованием компьютерного моделирования.

Для проведения анализа спектрального состава тока питания RL-нагрузки с выбранным регулятором напряжения была создана имитационная компьютерная модель, которая состояла из трехфазного источника питания и RL-нагрузки и выпрямителя с транзисторным ключом. Регулирование приложенного напряжения на потребитель проводилось по принципу широтно-импульсного преобразователя напряжения.

В результате исследования модели регулируемого источника питания на базе широтно-импульсного преобразователя и работе на активно-индуктивную нагрузку установлено, что даже с исходным напряжением регулятора основной гармонике в 34 В несинусоидальность тока потребления составляет 0,19 %, что соответствует стандарту качества на электроэнергию.

Данный регулятор целесообразно использовать для регулируемого электропривода вентиляционных систем с двигателем повышенного скольжения, например, в установках "Климат-4М".

Ключевые слова: *полупроводниковый преобразователь напряжения, широтно-импульсный преобразователь, высшие гармоники, RL-нагрузка*

SPECTRAL ANALYSIS OF THE SUPPLY CURRENT OF THE RL LOAD WITH A VOLTAGE REGULATOR BASED ON A PULSE-LINE CONVERTER

I. Golodnyi, A. Sanchenko

Abstract. *Pulse-width voltage regulators are gaining increasing use in industry, especially in variable speed drives. At the same time, little research has been done in the field of electromagnetic compatibility (spectral composition of current consumption).*

The aim of the study is to determine, using computer simulation, the nonsinusoidality of the current consumption with an RL-load from a voltage regulator based on a pulse-width conversion.

The study of the spectral composition of the supply current of an active-inductive load with a pulse-width voltage regulator was carried out using the provisions of the theory of electrical circuits of sinusoidal and non-sinusoidal periodic current using computer simulation.

To analyze the spectral composition of the supply current of the RL-load with the selected voltage regulator, a simulation computer model was created, which consisted of a three-phase power supply and an RL-load, a rectifier with a transistor switch. The regulation of the applied voltage to the consumer was carried out according to the principle of a pulse-width voltage converter.

As a result of studying a model of a regulated power supply based on a pulse-width converter and working on an active-inductive load, it was found that even with an initial voltage of the fundamental harmonic regulator of 34 V, the nonsinusoidality of the consumption current is 0.19%, which corresponds to the quality standard for electricity. It is advisable to use this regulator for a controlled electric drive of ventilation systems with an increased slip motor, for example, in "Climate-4M" units.

Key words: *semiconductor voltage converter, pulse-width converter, higher harmonics, RL-load*