

**Аннотация.** Представлены результаты исследований термодинамической эффективности процесса газификации биомассы и оптимизации факторов, которые влияют на работу газогенератора.

**Ключевые слова:** газификация биомассы, генераторный газ, термодинамическая эффективность, диверсификация природного газа

## THERMODYNAMIC EFFICIENCY OF BIOMASS GASIFICATION

V. Koliyenko,  
A. Koliyenko  
E. Shelimanova,

**Abstract.** The results of investigation of the thermodynamic effective operation of biomass gasification process and optimizeftion of the factors that affect the gas generator's performance are given.

**Keywords:** gasification of biomass, syngas, thermodynamic efficiency, diversification of natural gas

УДК 621.3.067

## АНАЛІТИЧНИЙ АНАЛІЗ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ РЕГУЛЯТОРА З ШІП ПІД ЧАС РОБОТИ НА АКТИВНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

I. М. ГОЛОДНИЙ, кандидат технічних наук  
О. В. САНЧЕНКО, аспірант\*  
e-mail: golodnyi@ukr.net

**Анотація.** Наведено результати аналізу спектрального складу вихідної напруги регулятора на базі широтно-імпульсного перетворювача для асинхронного електропривода.

**Ключові слова:** вищі гармоніки, напруга, широтно-імпульсний перетворювач, спектральний склад, форма кривої напруги

Згідно з основами теорії кіл дослідження періодичних несинусоїдальних напруг і струмів, легше досліджувати, якщо криві розкласти в тригонометричний ряд Ейлера-Фур'є. Відомо, що будь-яка періодична функція  $f(\omega t)$ , що задовольняє умови Діріхле, може бути описана тригонометричним рядом [1]:

$$f(\omega t) = a_0 + \sum_n a_n \cos(\pi n t) + b_n \sin(\pi n t),$$

де  $\omega = 2\pi/T$  – основна частота, якщо період функції  $T = 2\pi$ , то  $\omega = 1$ ;

$n$  – номер вищої гармоніки;

$a_0, a_n, b_n$  – коефіцієнти, відповідно, постійної, косинусної та синусної складових.

Коефіцієнти  $a_0$ ,  $a_n$ ,  $b_n$  можна знайти за допомогою наступних інтегралів:

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) d(\omega t);$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t);$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t).$$

Зазвичай періодичні функції часу в електротехніці, до яких належать криві напруги та струму перетворювачів, симетричні відносно осі абсцис та початку координат, оскільки вони задовольняють вимоги:

$$f(\omega t) = -f(\omega t + \pi);$$

$$f(\omega t) = -f(-\omega t).$$

Тоді функція розкладається в ряд, що не містить постійної складової, парних гармонік і косинусів [1]:

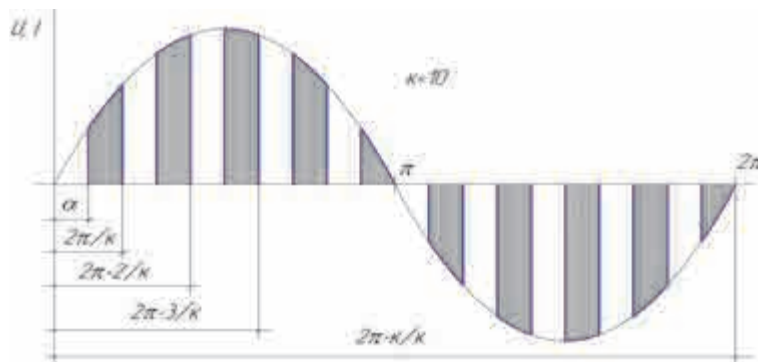
$$a_0 = 0;$$

$$a_n = 0.$$

**Мета досліджень** – поліпшення якості гармонічного складу вихідної напруги напівпровідникових перетворювачів регульованого асинхронного електропривода.

**Матеріали і методика досліджень.** Аналітичні дослідження спектрального складу вихідної напруги напівпровідникового перетворювача із широтно-імпульсним керуванням було здійснено використанням положень теорії електричних кіл синусоїдального і несинусоїдального періодичного струму.

**Результати досліджень.** Вихідна напруга регулятора на базі широтно-імпульсного перетворювача під час роботи на активне навантаження має вигляд, наведений на рис. 1.



**Рис. 1. Форма кривих напруги і струму перетворювача на базі ШІП під час роботи на активне навантаження [2]:**

$k$  – кратність частоти комутації транзисторів  $f_k$  до основної частоти струму джерела живлення  $f_1$

Досліджувана функція має вигляд синусоїди  $f(\omega t)$  з розривами, тобто на інтервалах:

$$\left. \begin{array}{l} c + \alpha; \\ 2\pi \frac{1}{k} + 2\pi \frac{1}{k} + \alpha; \\ 2\pi \frac{2}{k} + 2\pi \frac{2}{k} + \alpha; \\ 2\pi \frac{3}{k} + 2\pi \frac{3}{k} + \alpha; \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ 2\pi \frac{c-1}{k} + 2\pi \frac{c-1}{k} + \alpha. \end{array} \right\} f(\omega t) = 0; \quad \left. \begin{array}{l} \omega + 2\pi \frac{1}{k}; \\ 2\pi \frac{1}{k} + \alpha + 2\pi \frac{2}{k}; \\ 2\pi \frac{3}{k} + \alpha + 2\pi \frac{3}{k}; \\ 2\pi \frac{3}{k} + \alpha + 2\pi \frac{4}{k}; \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ 2\pi \frac{c-1}{k} + \alpha + 2\pi \frac{c}{k}. \end{array} \right\} f(\omega t) = U_m \sin(\omega t).$$

У загальному випадку можна записати:

$$2\pi \frac{c-1}{k} + 2\pi \frac{c}{k} + \alpha, \quad f(\omega t) = 0;$$

$$2\pi \frac{c-1}{k} + \alpha + 2\pi \frac{c}{k}, \quad f(\omega t) = U_m \sin(\omega t),$$

де  $c = 1, 2, 3, \dots, k$ .

Функція  $f(\omega t) = U_m \sin(\omega t)$  симетрична відносно осі абсцис та початку координат, звідси відсутні коефіцієнти постійної складової та косинусів, а також парні гармоніки.

Формула для визначення синусного коефіцієнта матиме вигляд:

$$b_n = \frac{1}{\pi} \sum_{c=1}^c \int_{\frac{2\pi(c-1)}{k} + \alpha}^{\frac{2\pi c}{k}} U_m \sin(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t).$$

Вираз  $\sin(\omega t) \sin(n\omega t)$  замінимо на рівнозначний

$$\frac{1}{2} [\cos(n-1)\omega t - \cos(n+1)\omega t]$$

і проведемо інтегрування:

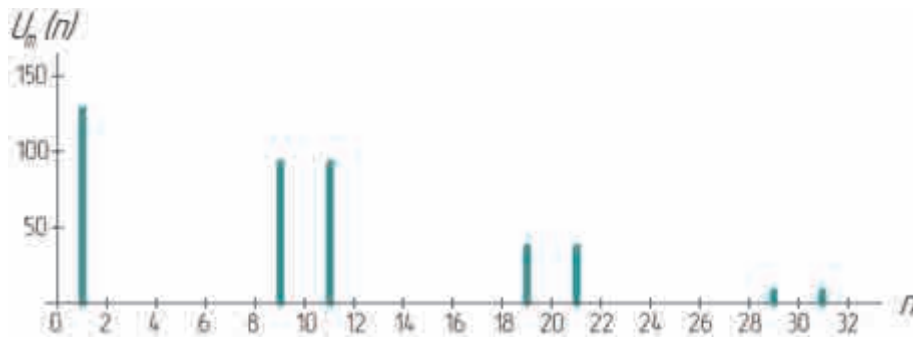
$$b_n = \frac{U_m}{2\pi} \sum_{c=1}^c \int_{\frac{2\pi(c-1)}{k} + \alpha}^{\frac{2\pi c}{k}} \cos(n-1)\omega t d\omega t - \cos(n+1)\omega t d(\omega t) =$$

$$= \frac{U_m}{2\pi} \sum_{c=1}^c \left[ \frac{1}{n-1} \sin(n-1)\omega t \Big|_{\frac{2\pi(c-1)}{k} + \alpha}^{\frac{2\pi c}{k}} - \frac{1}{n+1} \sin(n+1)\omega t \Big|_{\frac{2\pi(c-1)}{k} + \alpha}^{\frac{2\pi c}{k}} \right] =$$

$$= \frac{U_m}{2\pi} \sum_{c=1}^c \left\{ \frac{1}{n-1} \left[ \sin \left[ (n-1) \frac{2\pi c}{k} \right] - \sin \left[ (n-1) \frac{2\pi(c-1)}{k} + \alpha \right] \right] - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{n+1} \left[ \sin \left[ (n+1) \frac{2\pi c}{k} \right] - \sin \left[ (n+1) \frac{2\pi(c-1)}{k} + \alpha \right] \right] \right\}.$$

У рівняння для визначення коефіцієнта  $b_n$  введено кут відкриття  $\alpha$  та кратність комутації транзисторів  $k$ , що дає змогу проводити спектральний аналіз кривих при їх різних значеннях. Результати аналізу наведено на рис. 2.



**Рис. 2. Спектр вищих гармонік вихідної напруги перетворювача з ШІП:**  
 $\alpha = \pi/10, k = 10, f_k = 500$  Гц

З рис. 2 видно, що вищі непарні гармоніки вихідної напруги (9, 11, 19, 21, 29, 31 і т. д.) проявляються біля частоти, кратної частоті комутації транзисторного ключа  $f_k = kf_1 = 10 \cdot 50 = 500$  Гц, що відповідає спектру вихідної напруги автономного інвертора із широтно-імпульсним симетричним керуванням під час роботи на активне навантаження [3].

### Висновки

На основі теоретичних досліджень визначено рівняння для аналізу спектрального складу вихідної напруги регулятора з ШІП, в якому враховано кут відкривання та частоту комутації транзисторних ключів.

За розрахунками, вищі непарні гармоніки вихідної напруги (9, 11, 19, 21, 29, 31 і т. д.) з активним навантаженням проявляються біля частоти, кратної частоті комутації транзисторних ключів ( $f_k = 500$  Гц).

### Список літератури

1. Основы теории цепей : учеб. для вузов / Г. В. Зевека, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхово. – М. : Энергия, 1975. – 752 с.
2. 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.
3. Герман-Галкин С. Г. Силовая электроника : лабораторные работы на ПК : учеб. пособие для студ. вузов / С. Г. Герман-Галкин. – Санкт-Петербург : КОРОНА принт, 2002. – 304 с.

### References

1. Zeveka, G. V. Ionkin, P. A., Netushil, A. V., Strachovo, S. V. (1975). Osnovy teoriiy kil [Fundamentals of circuit theory: Textbook for Universities]. Moskow: Energiya, 752.
2. Holodnyi, I. M., Sanchenko, O. V. (2011). Do pytannya regulyuvannya shvydkosti malopotuzhnogo asynkhronnogo elektropyvoda. [Before issue of regulation of speed low-power asynchronous electric drive]. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy, 166 (4), 64–70.
3. German-Galkin, S. G. (2002). Sylova elektronika: laboratorni roboty na PK. [Power Electronics: Laboratory work on the PC: [textbook for students universities]. St. Petersburg: CROWN print, 304.

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ РЕГУЛЯТОРА С ШИП ПРИ РАБОТЕ НА АКТИВНУЮ НАГРУЗКУ

И. М. Голодный,  
А. В. Санченко

*Аннотация.* Приведены результаты спектрального состава выходного напряжения регулятора на базе широтно-импульсного преобразователя для асинхронного электропривода.

*Ключевые слова:* высшие гармоники, напряжение, широтно-импульсный преобразователь, спектральный состав, форма кривой напряжения

## ANALYTICAL ANALYSIS OF OUTPUT VOLTAGE OF REGULATOR WITH SHIP AT WORK ON RESISTIVE LOAD

I. Golodnyi,  
A. Sanchenko

*Abstract.* The results of the spectral composition of the output voltage regulator based on the PWM inverter for the induction motor.

*Keywords:* higher harmonics, voltage, PWM inverter, spectral composition, voltage waveform

УДК 620.97; 621.5

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РАДІАТОРІВ ОХОЛОДЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ БІОТЕПЛОГЕНЕРАТОРА

Р. І. ЗАГОРОДНІЙ, кандидат технічних наук  
Тернопільський національний педагогічний університет  
ім. В. Гнатюка  
e-mail: zagoroman@ukr.net

*Анотація.* Описано розрахунок параметрів радіатора для охолодження когенераційної установки теплогенератора. Запропоновано застосовувати голчасті радіатори. Наведено результати експериментальних досліджень.

*Ключові слова:* когенераційна установка, радіатори охолодження, термоелектричні модулі, голчастий радіатор

Перспективним напрямом у галузі енергозабезпечення є впровадження когенераційних технологій. Когенераційні установки широко використовуються в малій енергетиці, що зумовлено такими перевагами: по-

---

© Р. І. Загородній, 2016