

УДК 621.316.722.3

Варламов Никита Сергеевич¹, аспирант, e-mail: varlamov_nikita@mail.ru
Сугаков Валерий Геннадьевич¹, д.т.н., профессор

¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ БЕСТРАНСФОРМАТОРНОГО НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ФОРМЫ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Аннотация. Статья посвящена изучению влияния гармонических искажений на форму выходного напряжения бестрансформаторного непосредственного преобразователя частоты. Приведены графические зависимости коэффициентов гармонических искажений выходного напряжения, полученных при имитационном моделировании. Установлено, что предложенный преобразователь обеспечивает формирование выходного напряжения при отклонении формы напряжения источника электроэнергии.

Ключевые слова: преобразователь частоты, судовая электроэнергетическая система, коэффициент нелинейных искажений, моделирование.

Неотъемлемой частью современных судовых электротехнических комплексов и систем являются полупроводниковые преобразователи электрической энергии, которые позволяют регулировать параметры выходного напряжения [1-4]. Особенности работы систем управления полупроводниковыми преобразователями электрической энергии тесно связано с качеством электрической энергии источника электроэнергии. Изменение параметров напряжения приводит к снижению эффективности и надежности работы, а также к отклонению выходных параметров преобразователя.

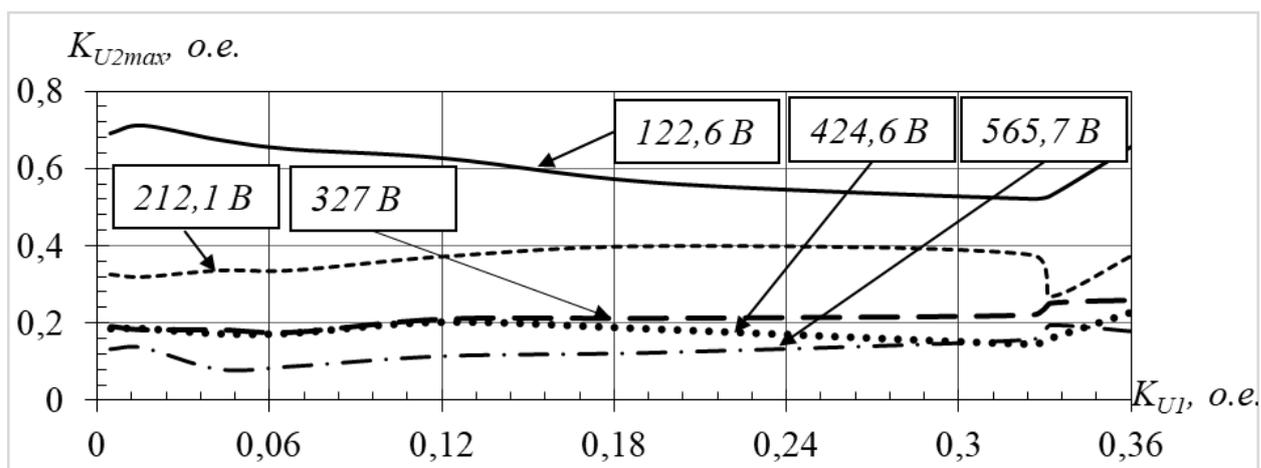
Большинство технических решений непосредственных преобразователей частоты, отличающиеся широким разнообразием схем силового блока и способов управления, не могут обеспечить выходного напряжения высокого качества в трехфазных системах и устойчивость к вариации параметров источника электроэнергии.

Для устранения указанных недостатков был разработан бестрансформаторный непосредственный преобразователь частоты (БТНПЧ), который обеспечивает формирование выходного напряжения наиболее близкое к эталонному напряжению вне зависимости от вариации её параметров (амплитуды, частоты и формы кривой напряжения) [5]. Исследование БТНПЧ при изменении эталонного сигнала и параметров источника напряжения показало, что значение коэффициента нелинейных искажений напряжения с выхода БТНПЧ K_{U2} практически не зависит от частоты эталонного сигнала $f_{зад}$. Формирование выходного напряжения обеспечивается в диапазоне от 11 % до 100 % амплитуды линейного напряжения источника электроэнергии значение K_{U2} не превышает 25 %. При этом значение K_{U2} с выхода БТНПЧ зависит от момента начала формирования выходного напряжения. При этом минимальные значения K_{U2} наблюдается в диапазоне от

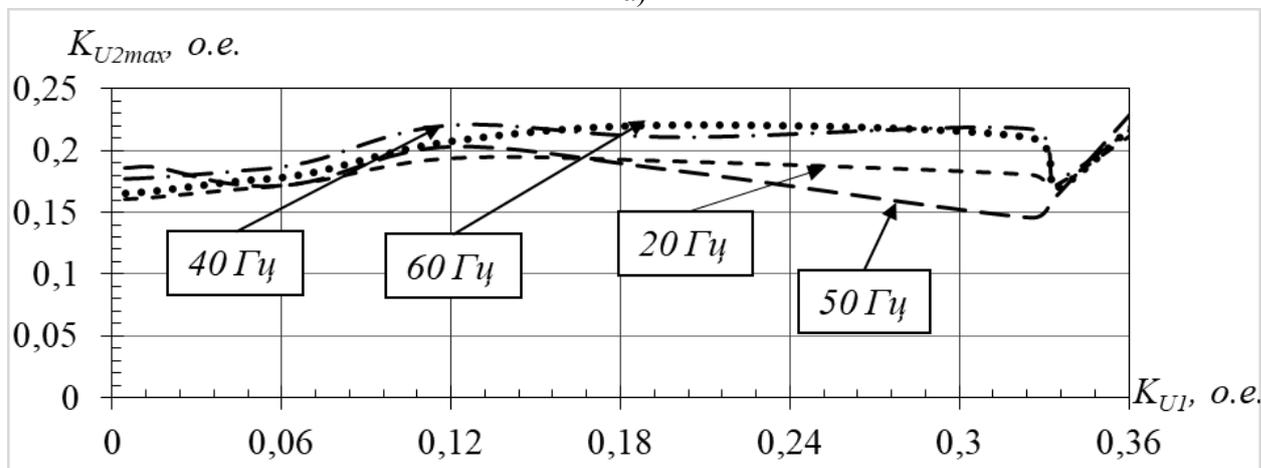
57,5 % до 100 % амплитуды линейного напряжения источника электроэнергии при K_{U2} и синфазном формировании выходного напряжения с одной из синусоид входных напряжений [6, 7].

Целью данной работы является исследование влияния гармонических искажений напряжения источника электрической энергии K_{U1} на форму выходного напряжения БТНПЧ. Исследование и анализ выходного напряжения осуществляется в соответствии с структурной схемой модели [6, 7].

Исследование проводилось при следующих неизменных параметрах модели: частота напряжения источника электроэнергии $f_1 = 50 \text{ Гц}$; амплитуда линейного напряжения синусоидальной формы $U_1 = 565,7 \text{ В}$; мощность нагрузки $P_n = 4 \text{ кВт}$, $\cos\varphi = 1$; время начала формирования выходного напряжения $t_{нач} = 0,042 \text{ с}$. Результаты моделирования представлены на рис. 1 и рис. 2.



а)



б)

Рисунок 1 – Коэффициент нелинейных искажений выходного напряжения K_{U2} при отклонении формы напряжения источника электроэнергии: а – при изменении амплитуды эталонного сигнала; б – при изменении частоты эталонного сигнала

При изменении амплитуды эталонного сигнала БТНПЧ (рис. 1, а) в диапазоне от 57,5 % до 100 % амплитуды линейного напряжения источника электроэнергии значения K_{U2max} не превышают 0,25 о.е. при $K_{U1} = 0 - 0,336$ о.е. При $K_{U1} > 0,336$ происходит резкое

увеличение гармонических искажения в выходном напряжении БТНПЧ. Форма выходного напряжения БТНПЧ при изменении амплитуды эталонного сигнала $U_{зад}$ изображена на рис. 2 для случаев при $K_{U1} = 0,0685$. Для $f_{зад} = 50$ Гц при $U_{зад} = 212,1$ В значение $K_{U2max} = 0,3357$ (рис. 2, а); при $U_{зад} = 327$ В – $K_{U2max} = 0,1773$ (рис. 2, б); при $U_{зад} = 424,26$ В – $K_{U2max} = 0,1744$ (рис. 2, в); при $U_{зад} = 565,7$ В – $K_{U2max} = 0,0879$ (рис. 2, г).

Изменение частоты эталонного сигнала $f_{зад}$ (рис. 1, б) приводит к незначительному отклонению K_{U2max} . Для $U_{зад} = 424,26$ В при $f_{зад} = 20$ Гц значение $K_{U2max} = 0,1746$ (рис. 2, д); при $f_{зад} = 40$ Гц – $K_{U2max} = 0,1908$ (рис. 2, е); при $f_{зад} = 50$ Гц – $K_{U2max} = 0,1744$ (рис. 2, ж); при $f_{зад} = 60$ Гц – $K_{U2max} = 0,1814$ (рис. 2, з).

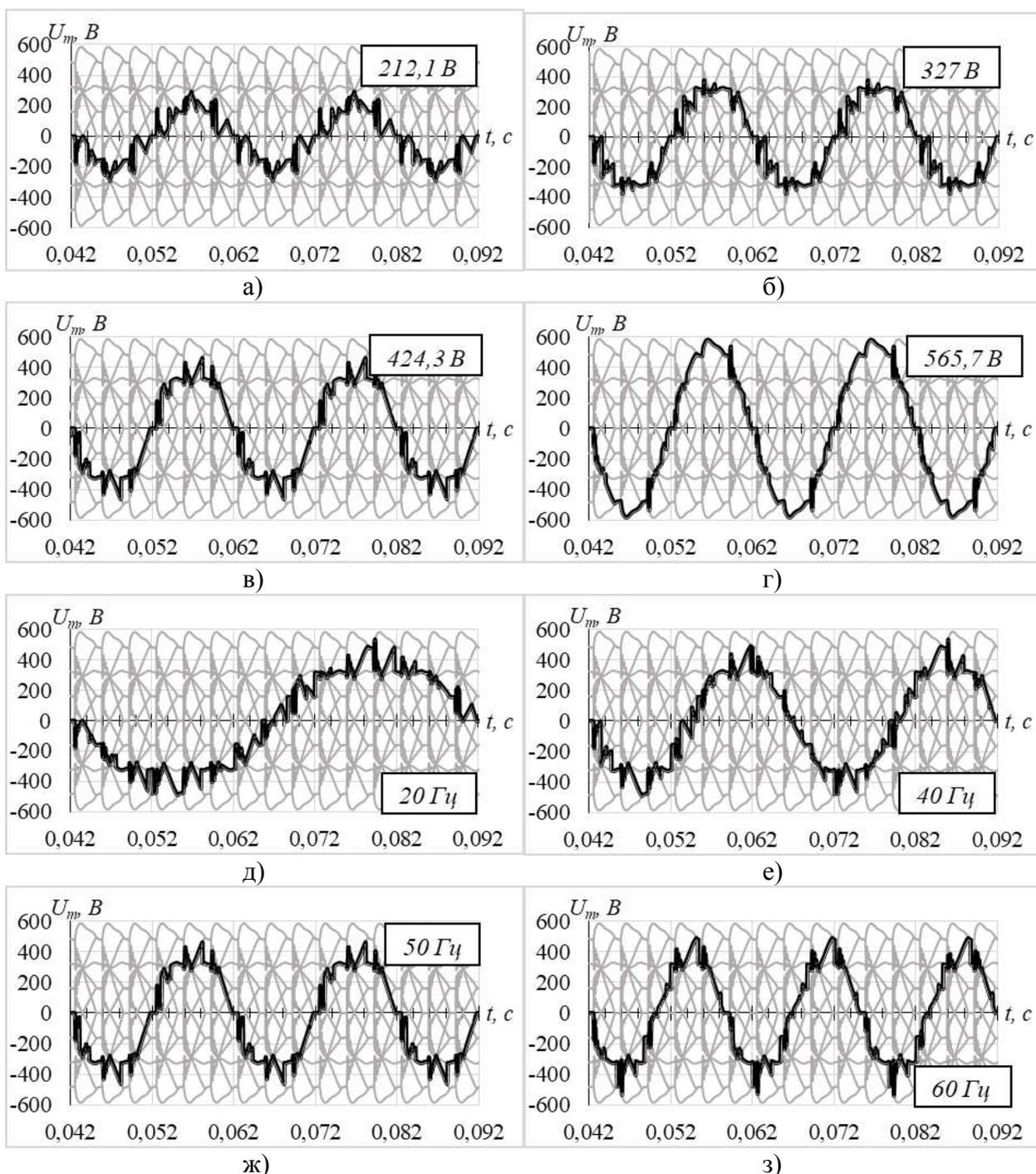


Рисунок 2 – Форма выходного напряжения: а-г – при изменении амплитуды эталонного напряжения; д-з – при изменении частоты эталонного напряжения

На основании результатов имитационного моделирования можно сделать вывод, что максимальное значение коэффициента нелинейных искажений выходного напряжения БТНПЧ в основном определяется в зависимости от заданных параметров эталонного сигнала. При этом в диапазоне от 57,5 % до 100 % амплитуды линейного напряжения источника электроэнергии и при $K_{U1} = 0 - 0,336$ значение K_{U2} не превышает 25 %.

Таким образом, предложенный бестрансформаторный непосредственный преобразователь частоты на основе сравнения напряжения сети с эталонным сигналом может быть использован для питания частотно-управляемых электроприводов переменного тока и получения выходного напряжения стабильной частоты при вариации параметров напряжения источника электроэнергии.

Список литературы:

1. Mukund R. Patel Shipboard Propulsion, Power Electronics, and Ocean Energy / Mukund R. Patel. — CRC Press, 2012. — 379 p.
2. Дмитриев, Б.Ф. Судовые полупроводниковые преобразователи: учебник по курсу «Полупроводниковые преобразователи» / Б.Ф. Дмитриев, В.М. Рябенский, А.И. Черевко, М.М. Музыка; Сев. федер. ун-т. – 2-е изд., перераб. и доп. – Архангельск; САФУ, 2015. – 555 с
3. Штрumpf, Э.П. Судовая электроника и силовая преобразовательная техника: Учебник / Э.П. Штрumpf. – СПб: Судостроение, 1993. – С. 319-335.
4. Power electronics handbook: devices, circuits, and applications handbook / edited by Muhammad H. Rashid. — 3rd ed. — Elsevier Inc., 2011. — 1390 p. DOI: 10.1016/B978-0-12-382036-5.00051-3.
5. Пат. 2691968 Российская Федерация, МПК H02M 5/27. Бестрансформаторный непосредственный преобразователь частоты / В.Г. Сугаков, О.С. Хватов, Н.С. Варламов; – № 2018123270; Заявл. 26.06.2018; Опубл. 19.06.2019; Бюл. № 17.
6. Сугаков, В.Г. Анализ выходного напряжения бестрансформаторного непосредственного преобразователя частоты при изменении частоты эталонного сигнала / В.Г. Сугаков, Н.С. Варламов // Н. Новгород ВГАВТ труды 22-го Международного научно-промышленного форума «Великие реки - 2020». Труды конгресса. ФГБОУ ВО «ВГАВТ», 2020. С. 1 – 4.
7. Сугаков В.Г. Особенности формирования выходного напряжения бестрансформаторного непосредственного преобразователя частоты / В.Г. Сугаков, Н.С. Варламов, Ю.С. Малышев // Актуальные проблемы электроэнергетики: сб. науч.-техн. статей. – Н. Новгород: Нижегородский гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева, 2020. С. 36 – 40. DOI: 10.46960/39255930_2020_36

RESEARCH OF THE OUTPUT VOLTAGE OF TRANSFORMER-FREE DIRECT FREQUENCY CONVERTER WITH CHANGE OF FORM SUPPLY VOLTAGE

Nikita S. Varlamov, Valerij G. Sugakov

Abstract. The article is devoted to the research of influence harmonic distortions on shape of output voltage of a transformer-free direct frequency converter. The graphical dependences of



harmonic distortion coefficients of output voltage obtained in simulation are presented. It was found that the proposed converter provides the formation of output voltage when voltage waveform of power source deviates.

Keywords: frequency converter, ship power system, total harmonic distortion, modeling.

