



УДК 621.316.722.3

**Сугаков Валерий Геннадьевич**, профессор, д.т.н., профессор кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

**Варламов Никита Сергеевич**, аспирант кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

**Ягжов Илья Игоревич**, аспирант кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

### **ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ ФАЗОСМЕЩАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПРИ РАЗЛИЧНОМ ХАРАКТЕРЕ НАГРУЗКИ**

*Ключевые слова:* фазосмещающее устройство, коррекция угла управления, управляемый выпрямитель, нестабильность частоты.

*Статья посвящена имитационному моделированию трехфазного выпрямителя с несимметричным управлением. Приведены результаты исследования влияния параметров нагрузки при изменении частоты напряжения и угла управления. Анализ результатов показывает, что изменение величины относительного отклонения средневыпрямленного напряжения наблюдается при активном характере нагрузки малой мощности.*

Особенности применения полупроводниковых преобразователей (ПП) электрической энергии тесно связано с различными режимами работы электротехнических систем объектов водного транспорта, функционирующих при изменении параметров электрической сети. В связи с этим ПП должны обладать устойчивостью к ухудшению качества электрической энергии и необходимым качеством регулирования выходных параметров.

Регулирование выходных параметров ПП осуществляет фазосмещающее устройство (ФСУ), входящее в систему управления, за счет изменения моментов формирования управляющих импульсов [1-4].

В судовых системах электроснабжения вследствие изменения мощности происходит отклонение частоты питающего напряжения от номинального значения. В результате в ФСУ происходит ограничение возможности равномерного регулирования заданного угла управления и возникает погрешность задания угла управления. Данный недостаток устранен при разработке цифрового фазосмещающего устройства (ЦФСУ), в котором корректируется управляющий код в зависимости от частоты питающего напряжения и заданного угла управления [5]. На основе данного устройства разработана имитационная модель ПП с ЦФСУ, которая показала достаточно низкую величину относительного отклонения среднего выпрямленного напряжения  $\delta U_d$  при изменении частоты питающей сети [6]. Однако исследования проводились при одинаковых параметрах нагрузки. Целью данной работы является исследование свойств ПП с

дискретным фазосмещающим устройством (ДФСУ) и ЦФСУ при различном характере и мощности нагрузки.

Исследование проводилось на основе имитационной модели трехфазного выпрямителя с несимметричным управлением [6]. На рис. 2-4 представлены зависимости величины  $\delta U_d$  от угла управления  $\alpha$ , полученные в результате моделирования.

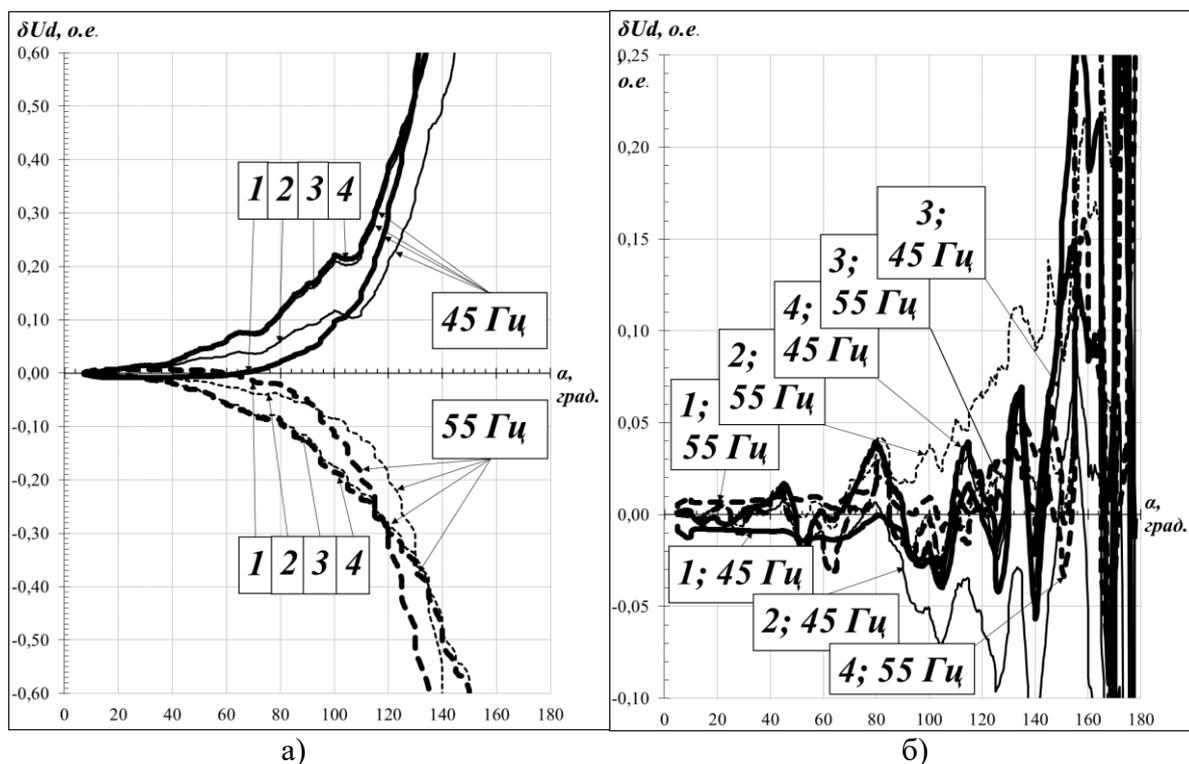


Рис. 2. Зависимости относительного отклонения среднего выпрямленного напряжения от угла управления с ДФСУ (а) и ЦФСУ (б) при активном характере нагрузки (1 –  $P_{load} = 1 \text{ Вт}$ ; 2 –  $P_{load} = 10 \text{ Вт}$ ; 3 –  $P_{load} = 100 \text{ Вт}$ ; 4 –  $P_{load} \geq 200 \text{ Вт}$ )

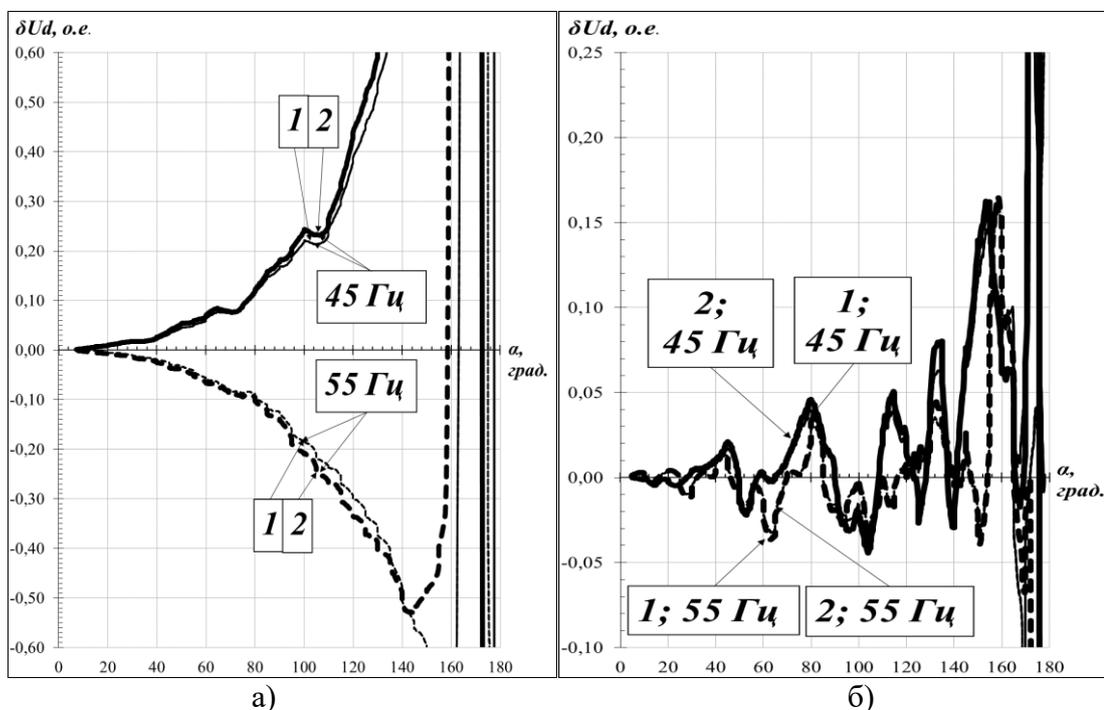


Рис. 3. Зависимости относительного отклонения среднего выпрямленного напряжения от угла управления с ДФСУ (а) и ЦФСУ (б) при индуктивном характере нагрузки (1 –  $Q_{load} < 100 \text{ ВА}$ ; 2 –  $Q_{load} \geq 200 \text{ ВА}$ )

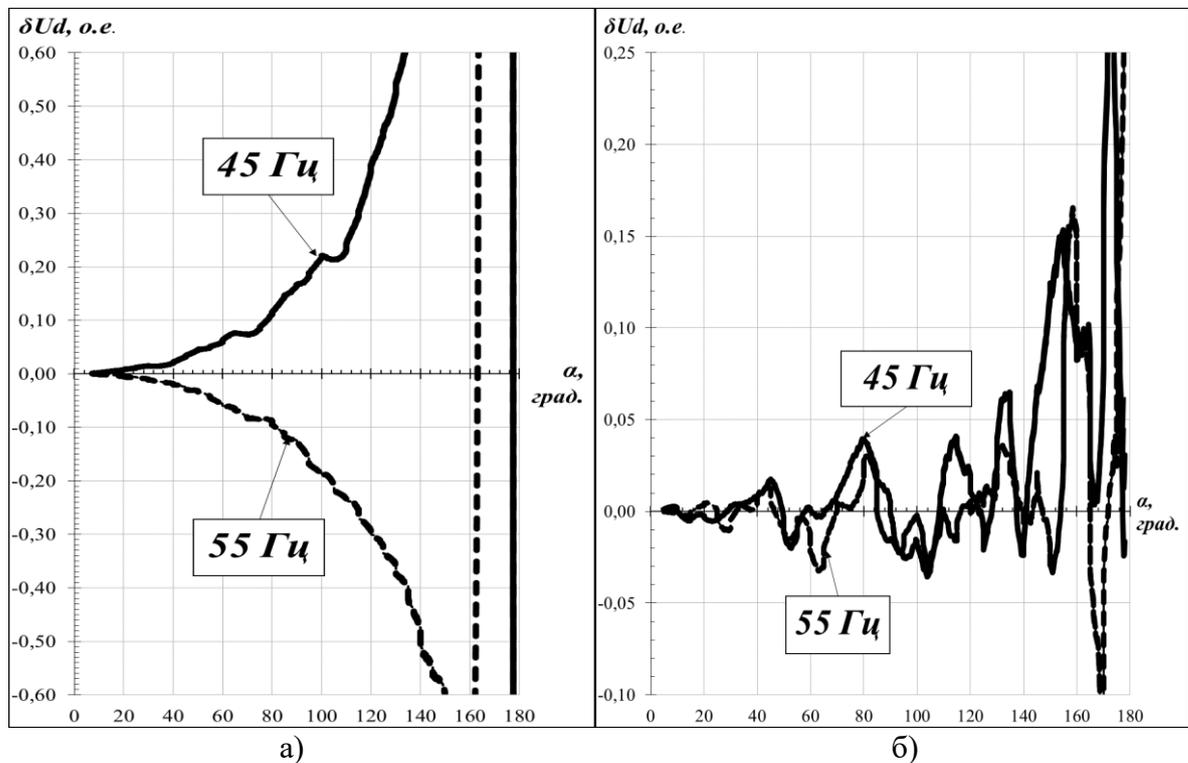


Рис. 4. Зависимости относительного отклонения среднего выпрямленного напряжения от угла управления с ДФСУ (а) и ЦФСУ (б) при активно-индуктивном характере нагрузки (1 –  $P_{load} = 4000 \text{ Вт}$  и  $Q_{load} = 100 \text{ ВА}$ ; 2 –  $P_{load} = 4000 \text{ Вт}$  и  $Q_{load} \geq 200 \text{ ВА}$ )

При использовании в модели ДФСУ и при активном характере нагрузки (рис 2, а) наименьшая величина  $\delta U_d$  наблюдается при минимальной мощности нагрузки (характеристика 1). В этом случае диапазон  $\delta U_d$  составляет  $0-0,13$  при изменении угла управления от  $0$  до  $105$  градусов, в случае  $P_{load} \geq 200 \text{ Вт}$  изменение  $\delta U_d$  находится в диапазоне  $0-0,23$  (характеристика 4). Равенство величин  $\delta U_d$  наблюдается в окрестности угла управления  $130$  градусов для частоты напряжения  $45 \text{ Гц}$  и  $115$  градусов –  $55 \text{ Гц}$ , при дальнейшем увеличении угла управления величина  $\delta U_d$  характеристики 1 преобладает над характеристиками 2–4. Характеристики 2 и 3 являются промежуточными на исследуемых нагрузках, в случае  $P_{load} = 100 \text{ Вт}$  (характеристика 3) значение  $\delta U_d$  практически совпадает с характеристикой 4.

При проведении аналогичного опыта с ЦФСУ (рис 2, б) характеристики  $\delta U_d$  имеют знакопеременный характер в диапазоне изменения угла управления  $\alpha$  от  $0$  до  $135$  градусов при частоте напряжения  $45$  и  $55 \text{ Гц}$ . Величина  $\delta U_d$  в данном диапазоне  $\alpha$  изменяется в пределах от  $0$  до  $0,1$ . При  $P_{load} = 1 \text{ Вт}$  (характеристика 1) наблюдается максимальное значение  $\delta U_d$ , которое равно  $0,01$ . При дальнейшем увеличении угла управления характеристики 1, 3 и 4 практически совпадают. Так, для  $P_{load} = 10 \text{ Вт}$  (характеристика 2) в диапазоне  $\alpha$  от  $80$  до  $145$  градусов значение  $\delta U_d$  имеет максимальное значение при  $45$  и  $55 \text{ Гц}$ .

В случае индуктивного характера нагрузки (рис. 3) значение  $\delta U_d$  всех характеристик в диапазоне угла управления  $0-80$  градусов совпадают при частоте напряжения  $45$  и  $55 \text{ Гц}$ . Однако при дальнейшем увеличении угла управления величина  $\delta U_d$  отличается в зависимости от угла управления. Вид характеристик соответствует характеристикам при работе ПП с ДФСУ и ЦФСУ.

В случае, когда нагрузка имеет активно-индуктивный характер (рис. 4), разность  $\delta U_d$  при изменении мощности нагрузки практически отсутствует. При этом вид кривых соответствует характеристикам при активном и индуктивном характере нагрузки для системы управления с ДФСУ и ЦФСУ.

Установлено, что изменение относительного отклонения среднего выпрямленного напряжения с выхода полууправляемого выпрямителя характерно для малой мощности и активном характере нагрузки. При мощности активной составляющей нагрузки больше  $200 \text{ Вт}$  величина  $\delta U_d$  практически не изменяется. Индуктивный и активно-индуктивный характер нагрузки практически не оказывают влияния на относительное отклонение среднего выпрямленного напряжения, при этом зависимости  $\delta U_d$  от частоты напряжения в основном определяются структурой системы управления.

#### **Список литературы:**

- [1] Сугаков В. Г. Применение фазосмещающего устройства в условиях нестабильности частоты питающего напряжения / В. Г. Сугаков, Н. С. Варламов, А. И. Мешков // Актуальные проблемы электроэнергетики: сб. науч.-техн. статей. - Н.Новгород: Нижегородский гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева, 2016. - С. 168-172.
- [2] Горбачев Г. Н. Промышленная электроника / Г. Н. Горбачев, Е. Е. Чаплыгин; под ред. В. А. Лабунцова. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 320 с.
- [3] Иванов, А.Г. Системы управления полупроводниковыми преобразователями/А.Г. Иванов, Г.А. Белов, А.Г. Сергеев. - Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2010. -С. 56-68.
- [4] Лихошерст, В.И. Системы управления полупроводниковыми преобразователями электрической энергии: Учебное пособие/В.И. Лихошерст. - Екатеринбург: УГТУ, 1998. - С. 25-33.
- [5] Пат. 2612055 Российская Федерация, МПК G01R 25/00. Цифровое фазосмещающее устройство / В. Г. Сугаков, О. С. Хватов, Н. С. Варламов; заяв. и патентообл. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта». - № 2015155112; Заявл. 22.12.2015; Оpubл. 02.03.2017; Бюл. № 7. - 6 с.
- [6] Сугаков В. Г. Обоснование реализации фазосмещающего устройства с коррекцией кода в зависимости от частоты напряжения / Валерий Геннадьевич Сугаков, Никита Сергеевич Варламов, Юрий Сергеевич Малышев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. - 2017. - №4(44). - С. 829-837. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-829-837

### **EFFECT OF VARIABLE FREQUENCY ON THE OPERATION OF PHASE-SUBSTITUTED DEVICES WITH DIFFERENT LOAD CHARACTER**

Valerij G. Sugakov, Nikita S. Varlamov, Il'ya I. Yagzhov

*Key words: phase shifting device, control angle correction, controlled rectifier, instability of frequency.*

*The article is devoted to simulation modeling of a three-phase rectifier with asymmetric control. The results of the study of the influence of the parameters of the load when the voltage frequency and the angle of control are changed are presented. Analysis of the results shows that the magnitude of the relative medium-rectified voltage varies when a low-power active load.*