



УДК 621.316.722.3

**Н.С. Варламов**, аспирант, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
**В.Г. Сугаков**, д.т.н., профессор ФБОУ ВО «ВГУВТ»  
**И.И. Ягжов**, аспирант, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
603951, г Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

### ФАЗОСМЕЩАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО В ТРЕХФАЗНЫХ СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

*Ключевые слова: фазосмещающее устройство, трехфазные системы электроснабжения, нестабильность частоты напряжения.*

*В статье приведен обзор различных вариантов схем полупроводникового преобразователя. Рассматривается проблема влияния нестабильности частоты напряжения на стабильность выходных параметров выпрямителя. Предлагается фазосмещающее устройство с коррекцией угла управления в зависимости от частоты напряжения, функционирующее в трехфазных системах электроснабжения объектов водного транспорта.*

На объектах водного транспорта нашли широкое распространение выпрямительные агрегаты, которые используются для питания различной судовой нагрузки постоянного тока. В зависимости от назначения выделяют следующие типы выпрямителей: общего назначения, зарядные и сварочные выпрямительные агрегаты, для питания систем катодной защиты корпуса судна и возбуждения судовых электрических машин. [1]

Характеристики выпрямительного агрегата существенным образом зависят от схемы полупроводникового преобразователя. Основными показателями схемы выпрямления являются следующие: среднее значение выпрямленного напряжения, значение пульсаций выпрямленного напряжения, значение высших гармоник в цепях переменного тока, типовая мощность трансформатора, степень использования вентилях по току и напряжению, коэффициент мощности, КПД, стоимость, надежность и массогабаритные показатели.

К недостаткам однофазных схем выпрямления относят низкие технико-экономические показатели. Однако выпрямительные агрегаты на основе однофазных схем выпрямления находят свое применение в низковольтных электроустановках до 5кВт. При достаточно большом выпрямленном токе используют нулевую двухполупериодную схему выпрямления (системы катодной защиты корпуса судна). Мостовые схемы выпрямления используются для питания обмоток возбуждения двигателей. [2, 3, 4]

Трехфазные выпрямители (рис. 1, а, б, г) используются для питания большинства судовых потребителей постоянного тока. Такие схемы характеризуются высоким средним значением выпрямленного напряжения и относительно малой его пульсацией, а также высокой степенью использования трансформатора по току. Недостатком таких схем выпрямления является двойное падение напряжения на вентилях. В результате чего в установках с малым выходным напряжением и большим током используется шестифазная

схема с нулевым выводом (рис. 1, д). 12-фазные схемы выпрямления (рис. 1, е, ж) используются в мощных установках для снижения гармонических искажений. [2, 3, 4]

Для снижения габаритных показателей выпрямительного агрегата также используются схемы выпрямления с регулированием напряжения на первичной стороне трансформатора (рис. 1, в), поскольку ток, протекающий через первичную обмотку трансформатора значительно меньше, чем при регулировании среднего значения выпрямленного напряжения с выхода вторичной обмотки трансформатора. [2, 3, 4]

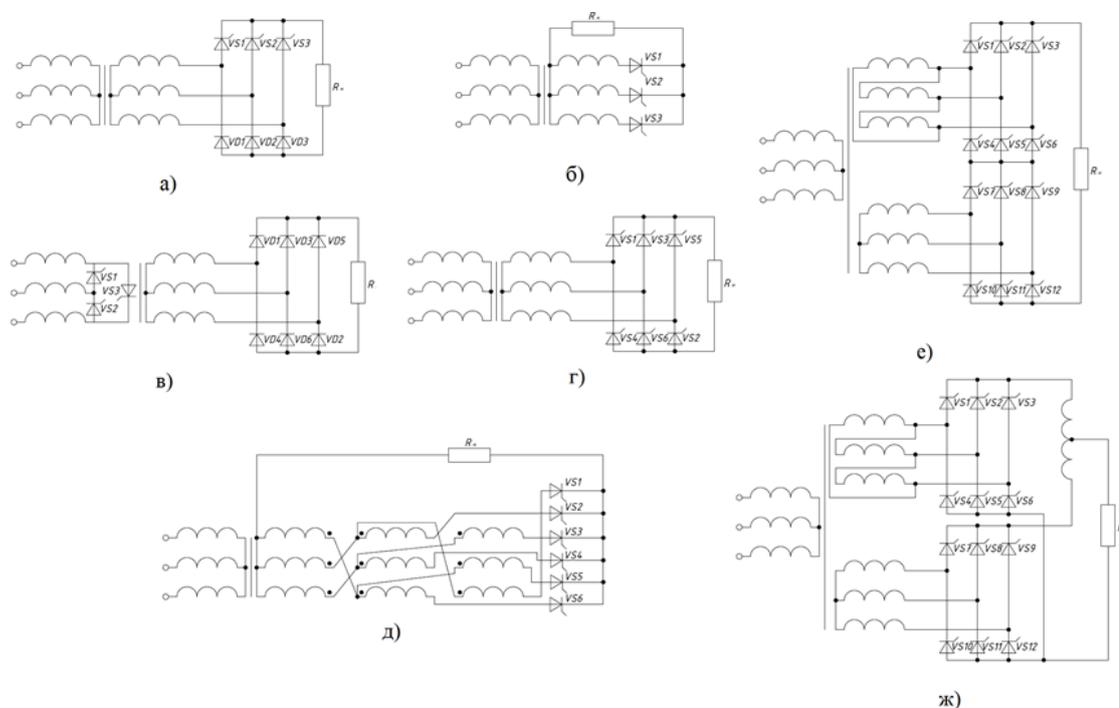


Рис. 1. Схемы выпрямления: а – трехфазная мостовая полупроводниковая; б – трехфазная мостовая управляемая; в – трехфазная нулевая; г – с регулятором напряжения во входных цепях д - шестифазная с нулевым выводом и соединением вторичных обмоток двойным зигзагом; е, ж – 12-фазная

В системах электроснабжения с ограниченной мощностью судовой электроэнергетической станции происходят колебания частоты питающего напряжения при изменении генерируемой и потребляемой мощности. Такие колебания вносят негативное влияние в работу систем управления полупроводниковых преобразователей, в результате происходит изменение выходных параметров полупроводникового преобразователя и ухудшение его регулировочных характеристик.

Для стабилизации выходных параметров полупроводникового выпрямителя существуют различные адаптивные системы управления [5, 6]. Однако такие устройства не могут обеспечить равномерное изменения угла управления при изменении частоты напряжения. В связи с этим было разработано цифровое фазосмещающее устройство с коррекцией кода в зависимости от частоты напряжения. Данное устройство обеспечивает практически плавное изменение заданного угла управления и высокую его стабильность в условиях нестабильности частоты питающей сети [7]. Однако данное устройство эффективно функционирует только в однофазных сетях.

Для эффективного функционирования в трехфазных системах электроснабжения разработано фазосмещающее устройство с дополнительными каналами управления (рис. 2).

Фазосмещающее устройство работает следующим образом. Генератор 1 тактовых импульсов формирует импульсы стабильной частоты, которые поступают на счетный вход блоков 6 и 8. В момент появления положительной полуволны напряжения первой фазы  $u_{L1}$  ( $t_3$ , рис. 3) на адресные входы блока памяти 7 поступает код  $X_6$  половины

периода отрицательной полуволны напряжения  $u_{L1}$  с выхода измерителя 6. Одновременно с этим формирователь прямоугольных импульсов 3 формирует прямоугольный импульс X3, который поступает на вход первого канала управления блока управления 8.

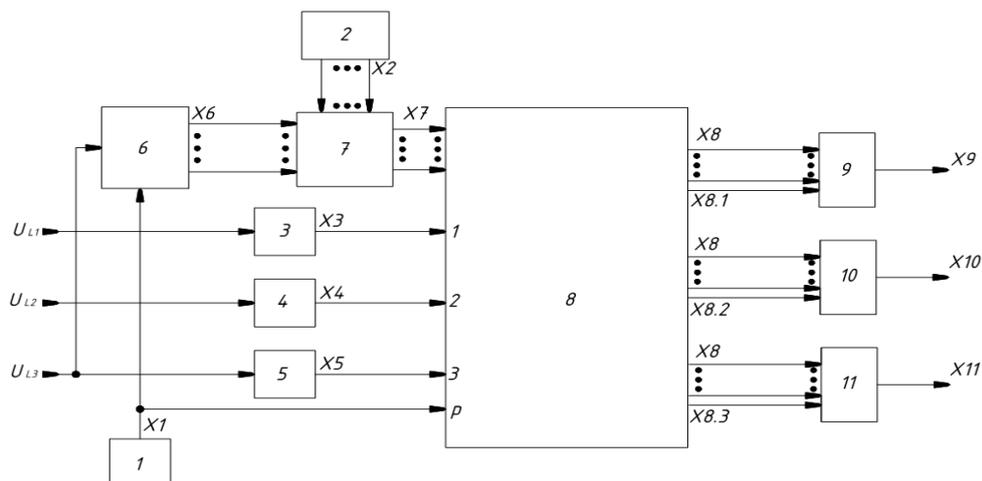


Рис. 2. Фазосмещающее устройство: 1 – генератор импульсов стабильной частоты; 2 – задающий регистр; 3, 4, 5 – формирователи коротких импульсов; 6 – цифровой измеритель половины периода; 7 – блок памяти; 8 – блок управления; 9, 10, 11 – формирователи временных интервалов

Код X6 соответствует числу частоте питающего напряжения первой фазы. На входе второго адреса блока 5 памяти присутствует код X2 угла управления, который формирует задающий регистр 2. На выходе блока памяти 7 формируется код X7 интервала времени, соответствующий заданному углу управления и частоте питающей сети.

Код X7 поступает на адресный вход блока управления 8. В моменты естественной коммутации ( $t_3, t_7, t_9$ , рис 3), когда мгновенное значение питающего напряжения первой фазы  $u_{L1}$  переходит через ноль, блок 8 в зависимости от момента поступления сигнала прямоугольной формы с выхода блока 3 напряжения формирует соответствующий код X8 и импульсы счета X8.1, которые поступают на формирователь временных интервалов 9. Импульсами X8.1 формирователь 9 производит отсчет интервала времени  $t_\alpha = t_4 - t_3$ , соответствующий необходимому углу управления  $\alpha$ . При достижении кода X8 формирователь 9 формирует импульс X9 в момент времени  $t_4$ , который поступает на выходной формирователь (рис. 3). Формирование импульсов управления X10 и X11 для остальных двух фаз происходит аналогично, как и для первой фазы.

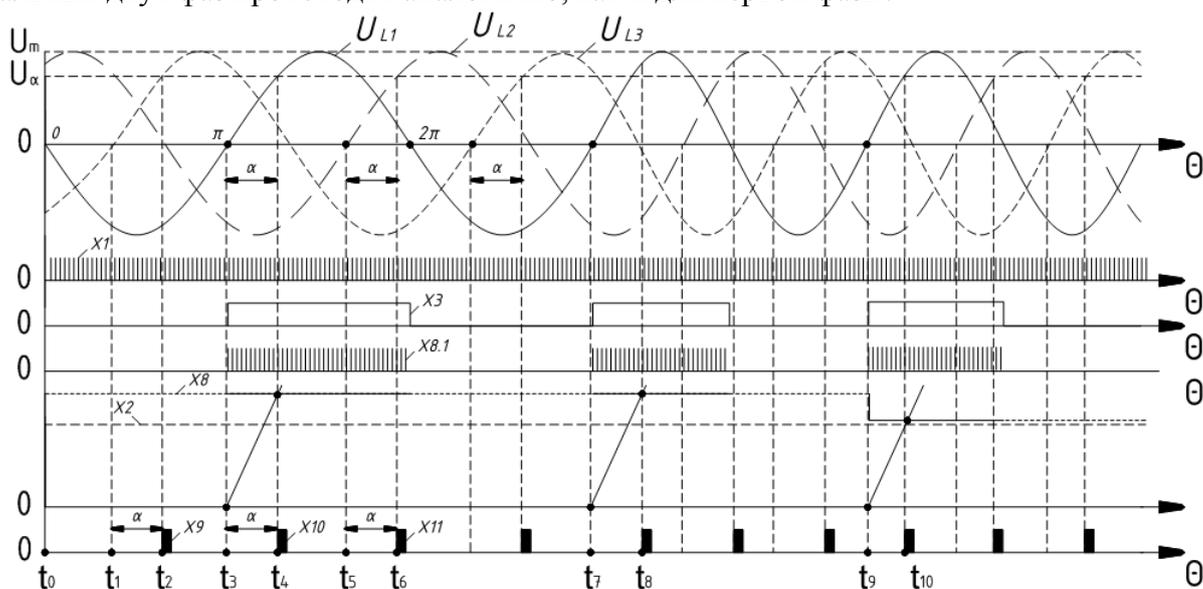


Рис. 3. Эпюры сигналов на элементах фазосмещающего устройства

При изменении частоты питающего напряжения формируется другое значение кода X8 в соответствии с кодом X7 в зависимости от периода отрицательной полуволны напряжения первой фазы. При этом значение напряжения  $U_\alpha$  остается неизменным. Далее работа устройства происходит аналогично описанному выше.

Таким образом, данное устройство обеспечивает управление полупроводниковыми преобразователями, которые могут функционировать в трехфазных системах электроснабжения при практически плавном изменении заданного угла управления и высокой его стабильности в условиях нестабильности частоты питающей сети.

#### **Список литературы:**

- [1] Сугаков В. Г. Цифровое фазосмещающее устройство и его области применения на объектах водного транспорта / В. Г. Сугаков, Н. С. Варламов // Актуальные проблемы электроэнергетики: сборник научно-технических статей. — Нижний Новгород: Нижегородский гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева, 2017. — С. 99–103.
- [2] Анисимов Я.Ф. Электромагнитная совместимость полупроводниковых преобразователей и судовых электроустановок / Я. Ф. Анисимов, Е. П. Васильев. - Л. : Судостроение, 1990. - 263 с.
- [3] Анисимов Я.Ф. Особенности применения полупроводниковых преобразователей в судовых электроустановках / Я.Ф. Анисимов. – Л.: Судостроение, 1973. – С. 8-140.
- [4] Домеников В.И., Казанский Л.М. Стабилизированные источники электропитания судовой радиоэлектронной аппаратуры / В.И. Домеников, Л.М. Казанский. – Л.: «Судостроение», 1971. – С. 58-59.
- [5]. Пат. 2373624 Российская Федерация, МПК H02M 1/08 Фазосдвигающее устройство / Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, А.В. Качалов, Р.М. Рахматулин. – №2008142656/09; заявл. 27.10.2008; опубл. 20.11.2009, Бюл. № 32. – 15 с.
- [6] Сугаков В. Г. Применение фазосмещающего устройства в условиях нестабильности частоты питающего напряжения / В. Г. Сугаков, Н. С. Варламов, А. И. Мешков // Актуальные проблемы электроэнергетики: сборник научно-технических статей. — Нижний Новгород: Нижегородский гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева, 2016. — С. 168–172.
- [7] Пат. 2612055 RU, МПК G01R 25/00 Цифровое фазосмещающее устройство / В.Г. Сугаков, О.С. Хватов, Н.С. Варламов. 2015155112; заявл. 22.12.2015; опубл. 02.03.2017, Бюл. № 7. – 6 с.

### **PHASE-SHIFTING DEVICE WITH IN THREE-PHASE POWER SUPPLY SYSTEMS OF WATER TRANSPORT OBJECTS**

N.S.Varlamov, V.G. Sugakov, I.I. Yagzhov

*Keywords: phase-shifting device, three-phase power supply systems, instability of voltage frequency.*

*The article gives an overview of variants of the semiconductor converter circuits. The problem of the influence instability of voltage frequency of the on the stability of the output parameters of the rectifier is considered. A phase-shifting device with correction of the control angle is proposed depending on the voltage frequency, which functions in three-phase power supply systems for water transport facilities.*