

*Соловьев Н.А. Анализ математических моделей УВ и АИ на базе ТВМП в средах Micro-Cap и MatLab-Simulink: моделирование в среде MatLab-Simulink // Академия педагогических идей «Новация». Серия: Студенческий научный вестник. – 2018. – №7 (июль). – АРТ 443-эл. – 0,3 п.л. - URL: <http://akademnova.ru/page/875550>*

**РУБРИКА: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**УДК 620.92**

**Соловьев Никита Александрович**

студент 5 курса, кафедра судовой электроэнергетики и автоматике

*Научный руководитель:* Черевко А.И., д.т.н.,

профессор кафедры судовой электроэнергетики и

автоматике института судостроения и морской арктической техники

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет

имени М.В. Ломоносова»

г. Северодвинск, Российская Федерация

e-mail: [behexen3@gmail.com](mailto:behexen3@gmail.com)

**АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УВ И АИ НА БАЗЕ  
ТВМП В СРЕДАХ Micro-Cap и MatLab-Simulink: МОДЕЛИРОВАНИЕ  
В СРЕДЕ MatLab-Simulink**

*а.*

*Аннотация:* В данной статье проанализированы модели выпрямителей на базе трансформаторов с вращающимся магнитным полем в средах моделирования Micro-Cap и MatLab-Simulink. Также в ходе исследования на практике выполнена математическая модель УВ и АИ на базе ТВМП в среде MatLab-Simulink.

*Ключевые слова:* трансформатор с вращающимся полем, автономный инвертер, управляемый выпрямитель, модель.

**Soloviev Nikita Alexandrovich**

5th year student, Department of marine electrical power and automation  
*Supervisor:* Cherevko A. I., doctor of technical Sciences, Professor of ship  
electric power and automation Department, Institute of shipbuilding and marine  
Arctic engineering  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov  
Severodvinsk, Russian Federation

**ANALYSIS of MATHEMATICAL MODELS of SW And AI ON the  
BASIS of TMP IN ENVIRONMENTS Micro-Cap and MatLab-Simulink:  
SIMULATION IN MatLab-Simulink**

*Abstract:* In this article the models of rectifiers based on transformers with a rotating magnetic field in the simulation media Micro-Cap and MatLab-Simulink are analyzed. Also during the research the mathematical model of the SW and AI on the basis of TWMP in MatLab-Simulink.

*Keywords:* transformer with rotating field, Autonomous inverter, controlled rectifier, model.

Если проанализировать модели управляемых выпрямителей на базе трансформаторов с вращающимся магнитным полем в средах моделирования Micro-Cap и MatLab-Simulink, становится понятно, что все они предназначены для разных целей. Так, например, модель, выполненная в среде моделирования Micro-Cap, является схмотехнической и обладает преимуществом, которое заключается в том, что библиотека элементов основывается на реальных объектах с учетом их конструктивных особенностей. Это позволяет посмотреть, посредством моделирования, как

поведет себя вся конструкция в целом. В то же время, не всегда есть необходимость в столь точном относительно элементной базы, моделировании: в этом случае можно построить математическую модель в MatLab/Simulink, с помощью которой можно смоделировать схему по уравнениям и провести исследования, которые подтвердят правильность решения уравнений.

Модели, собранные в среде моделирования Micro-Cap характеризуются простотой реализации, а использование стандартных функций МС позволяет существенно упростить гармонический анализ качества их выходного напряжения при различных силовых схемах коммутаторов [2,4,5].

Модель выпрямителей на базе ТВМП, созданная в MatLab-Simulink, подобно макромоделям в Micro-Cap, адекватно описывает процессы в выпрямителе, так как она построена на дифференциальных уравнениях (ДУ), учитывающих особенности работы силовых ключей ТК, а также взаимоиндуктивные связи и пространственное расположение магнитосвязанных обмоток ТВМП.

Особенность формирования математических моделей в программной среде MatLab-Simulink состоит в том, что с ростом числа пар СКЛ ТК возрастает количество ДУ описывающих установившиеся процессы и режимы переключения вентилей ТК, а также количество самих систем дифференциальных уравнений, с помощью которых описываются промежуточные состояния реального преобразователя с ТВМП.

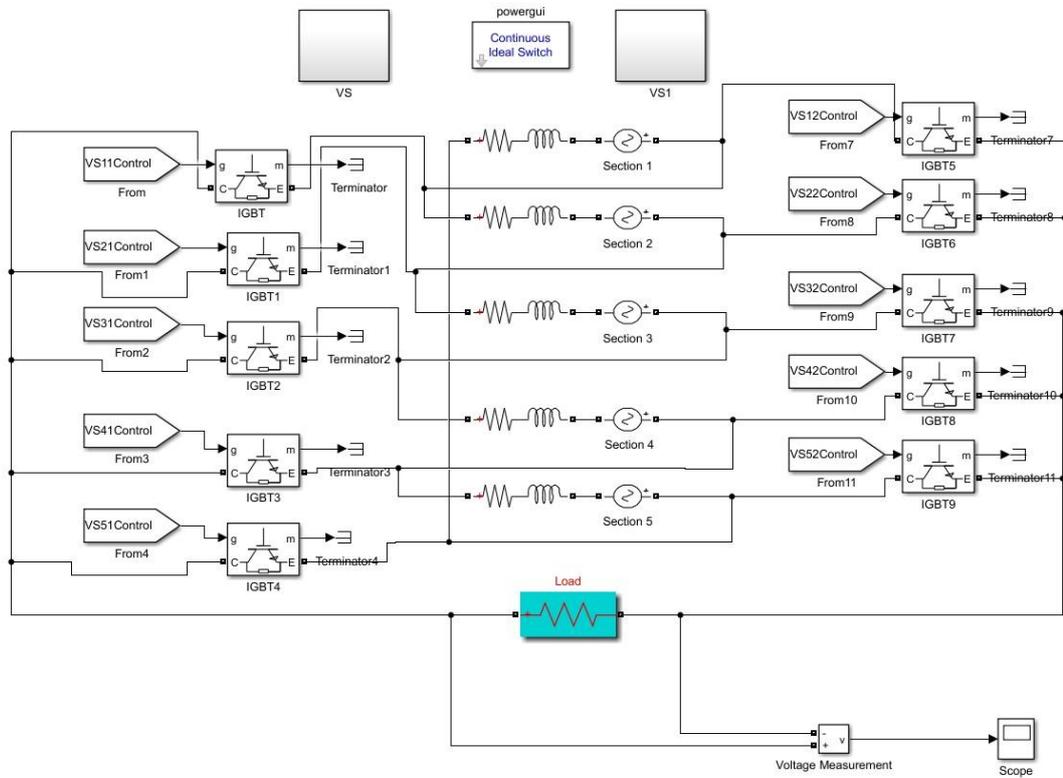
Увеличение числа систем ДУ описывающих промежуточные состояния реального ПП усложняет схему переключения расчетных этапов и саму модель ПП, приводит к уменьшению времени отводимого на расчет каждого промежуточного этапа и, следовательно, к увеличению скорости

переключения, с одного этапа на другой. В результате, с ростом числа ключевых элементов в ПП, оказывается, более рационально для составления математических моделей преобразователей использовать программы, реализующие численные методы решения ДУ, записанные, например, на языках программирования Паскаль, СИ++ или использовать возможности самой программы MatLab, в частности, встроенный редактор m – файлов, который позволяет создавать программы с использованием стандартных функций и операторов [1,2,3,5,6]. Для моделирования выпрямителя воспользуемся программой Matlab, библиотекой Simulink. В библиотеке Simulink содержится большое количество визуализированных элементов для моделирования электрических цепей и устройств любого уровня сложности.

Для создания модели выпрямителя были использованы следующие блоки из библиотеки Simulink: Ideal sinusoidal AC Voltage source (источник переменного напряжения), Series RLC Branch (Нагрузка), Scope (осциллограф), Diode (диод), Voltage measurement (вольтметр), Powergui, Thyristor (тиристор), Подсистема, Pulse generator (генератор импульсов), From и Go to (блоки для связи системы с подсистемой).

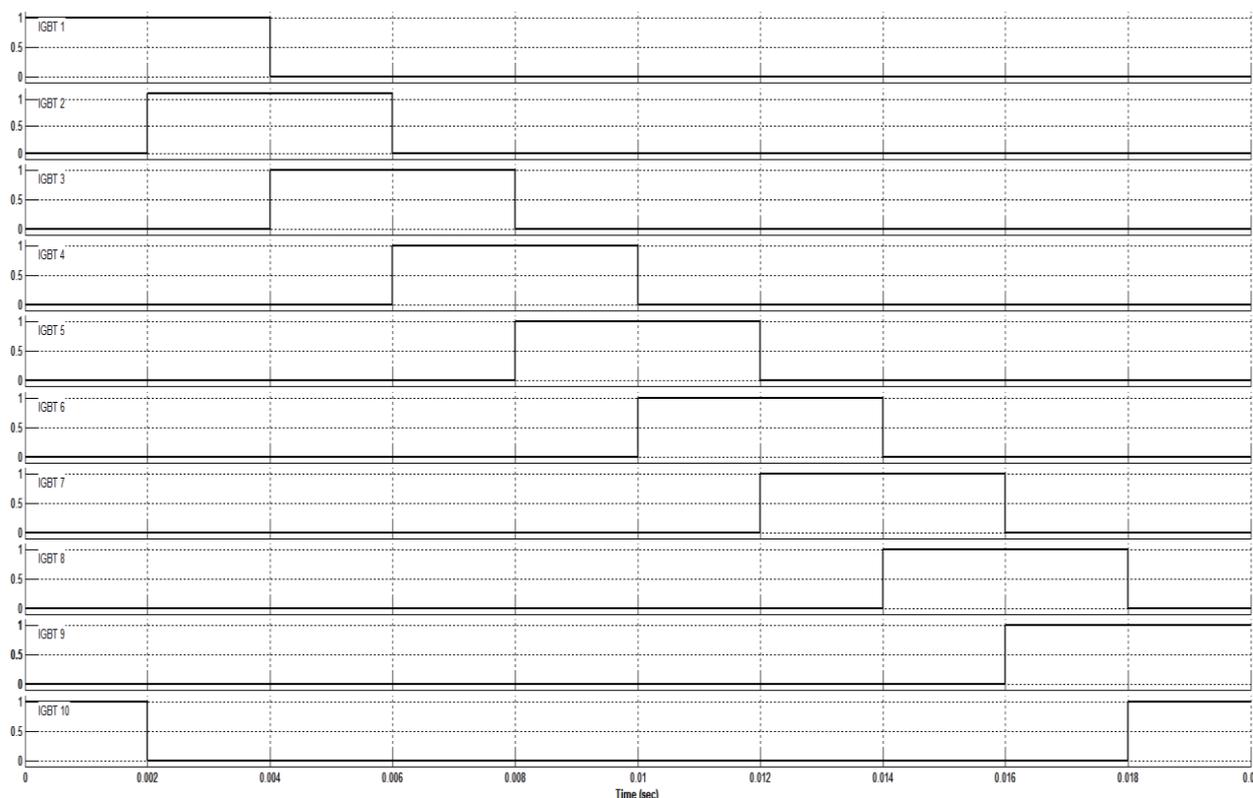
Из данных блоков были собраны модели однофазного управляемого выпрямителя и инвертора на 5 пар СКЛ на базе ТВМП .

Из теории алгоритмов управления известно, что пять пар силовых ключей в составе системы управления (СУ) будут давать на выходе управляемого выпрямителя (УВ) на базе трансформатора с вращающимися магнитными полями десять пульсаций выпрямленного напряжения за период. Схема трансформатора с вращающимися магнитными полями изображена на рисунке 1.



**Рис. 1.** Модель управляемого однофазного выпрямителя на IGBT-транзисторах на базе ТВМП.

Система управления подаёт сигналы управления в определённый времени на IGBT транзисторы. После блока подачи сигналов управления стоит блок задержки: чтобы имитировать угол управления сигналами коэффициент А записан в m-файле как и остальные параметры. Мы описываем последовательность включения по временной диаграмме представленной на рисунке 2.



**Рис.2.** Классический алгоритм и управляющие импульсы для УВ на базе ТВМП на 5 пар силовых ключей.

Через время равное  $\pi/N$  где N – число пар силовых ключей; T – период питающего напряжения ( $T = 2\pi = 0,02$  с). с момента включения пары силовых ключей работают в паре поочерёдно это видно из проходящих управляющих импульсов. Для определения интервала работы одного ключа воспользуемся формулой:

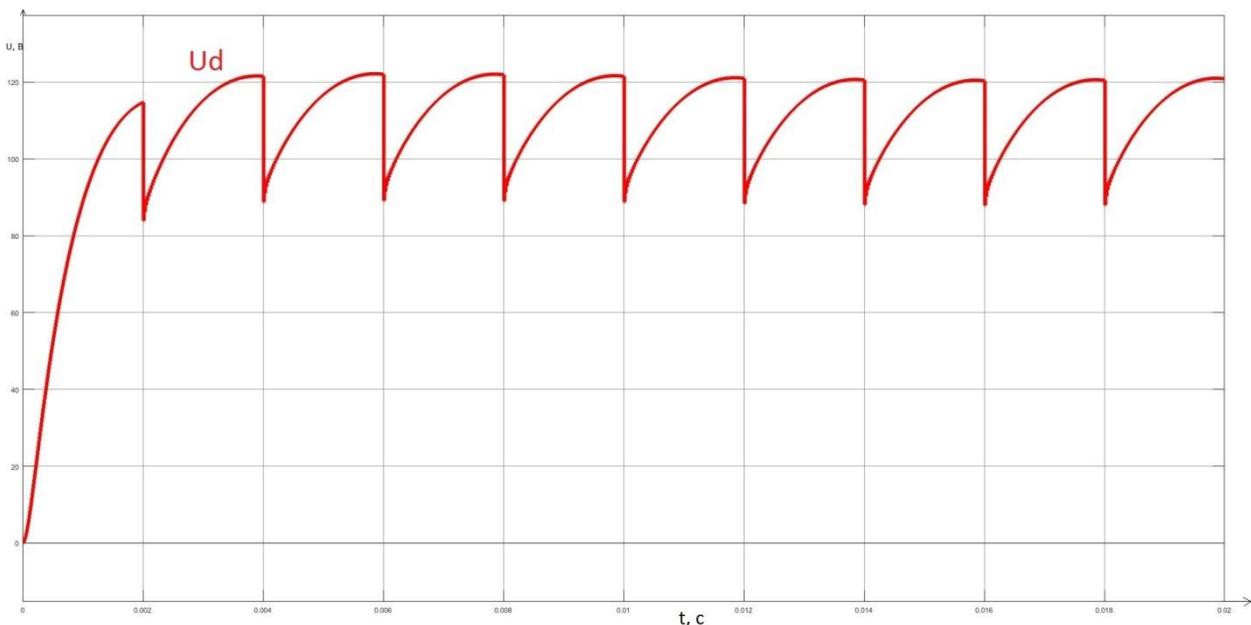
$$\tau = T/N = 0,02/5 = 0,0004 \text{ с} = 4 \text{ мс},$$

(3.4)

а сдвиг времени работы нечетных ключей по отношению к четным составит

$$\Delta\tau = \tau/2 = 0,0004/2 = 0,0002 \text{ с} = 2 \text{ мс}. \quad (3.5)$$

На временных диаграммах рисунке 3 представлены кривые выпрямленного тока  $I_d$  и напряжения  $U_d$ , которые дают десять пульсаций за период питающего напряжения.



**Рис.3.** Кривые тока  $I_d$  и напряжения  $U_d$  для управляемого выпрямителя на IGBT-транзисторах на базе ТВМП.

На основе структурной схемы инвертора на базе ТВМП была построена модель инвертора на базе ТВМП в программе Matlab-Simulink.

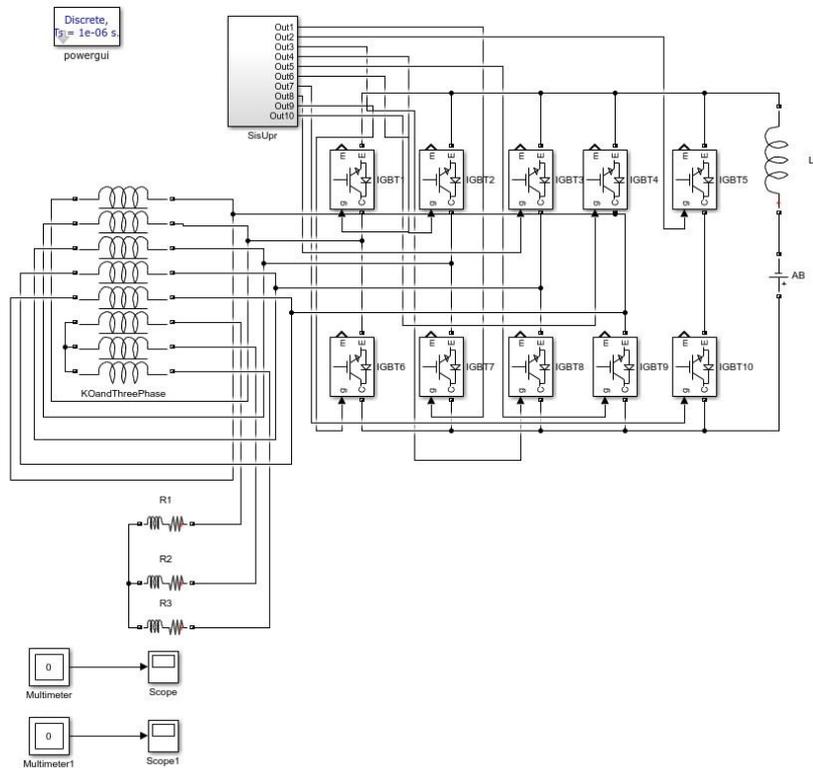


Рис. 4. Модель инвертора на базе ТВМП

Проведём анализ спектра напряжения для оценки качества инвертированного напряжения.

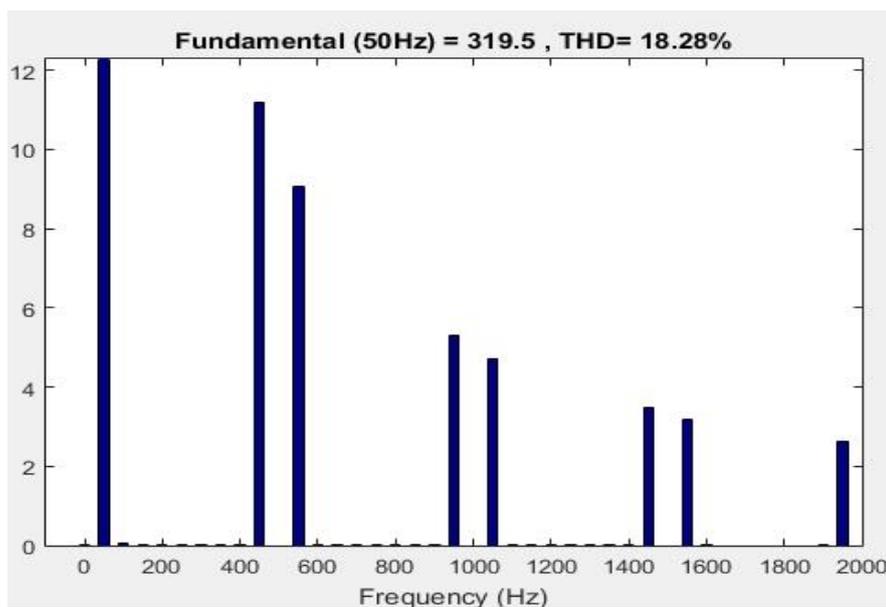


Рис. 5. Анализ спектра для напряжения на выходе АИ

## Всероссийское СМИ

### «Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»

Свидетельство о регистрации ЭЛ №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Сайт: [akademnova.ru](http://akademnova.ru)

e-mail: [akademnova@mail.ru](mailto:akademnova@mail.ru)

Из анализа видно, что коэффициент нелинейных искажений равен 18%. Данное значение не соответствует Морскому (Речному) Регистру и ГОСТу. Исходя из этого, требуется использовать фильтр.

Был выбран L-C фильтр низкой частоты, с частотой среза 400 Гц.

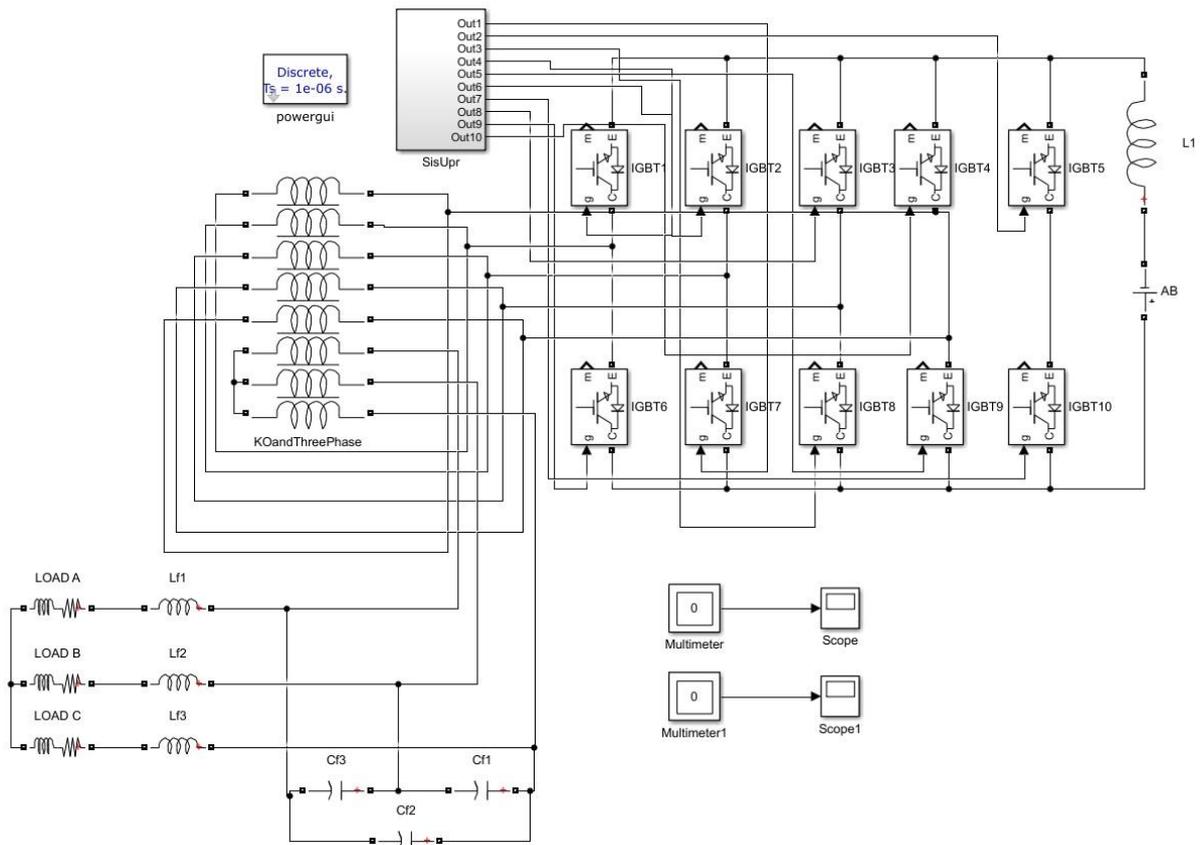


Рис. 6. Модель инвертора с ФНЧ

После моделирования были получены графики напряжения.

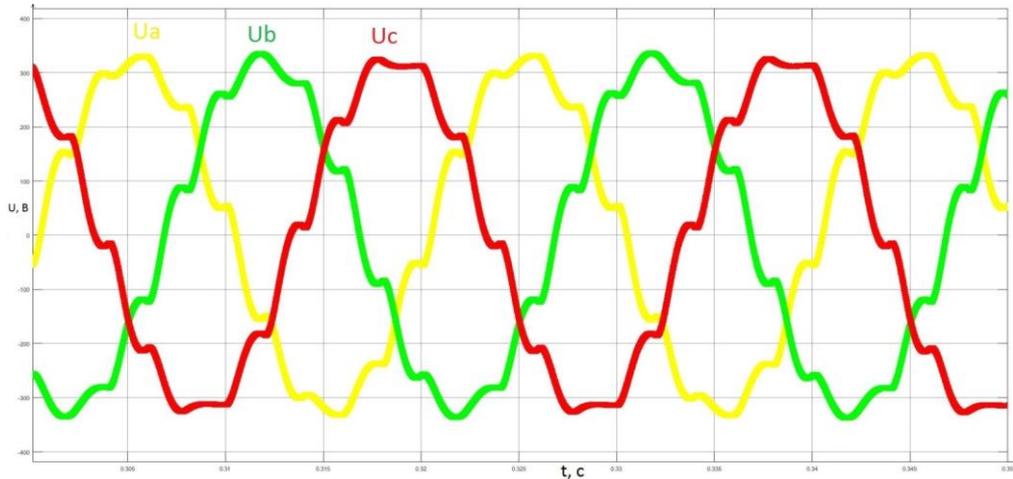


Рис. 7. Кривые напряжения на выходе инвертора с ФНЧ

Проведём анализ спектра для напряжения на выходе с фильтром.

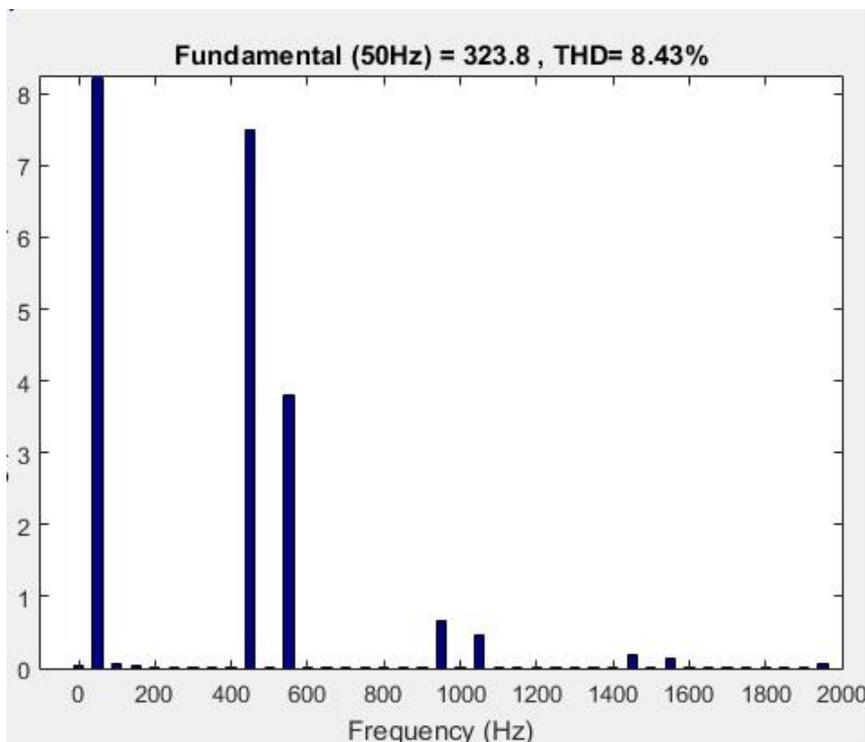


Рис. 8. Анализ спектра напряжения на выходе АИ с ФНЧ

Коэффициент нелинейных искажений составил 8%, что отвечает требованиям Морского (Речного) Регистра и ГОСТа.

Оценку качества выпрямленного напряжения выполним с помощью подсчёта коэффициента пульсаций по напряжению.

Для этого воспользуемся формулой 4.1

$$K_{pU} = \frac{U_{d \text{ макс}} - U_{d \text{ мин}}}{2U_{do}} \cdot 100\%. \quad (4.1)$$

Для управляемого выпрямителя на IGBT-транзисторах на базе ТВМП коэффициент пульсаций по напряжению будет следующим:

$$K_{pU} = \frac{U_{d \text{ макс}} - U_{d \text{ мин}}}{2U_{do}} \cdot 100\% \quad (4.2)$$

$$K_{pU} = \frac{121 - 100}{2 * 115} \cdot 100\%$$

$$K_{pU} = 10\%.$$

#### Список использованной литературы:

- 1) Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов [Текст]: учеб. пособ. / Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. – СПб, 2010 – 608 с.
- 2) Буторина М.В. Инженерная экология и экологический менеджмент [Текст]: учеб. пособ. / Буторина М.В., Воробьев П.В., Дмитриева А.П. – Москва, 2003 – 528 с.
- 3) Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MatLab 6.0 [Текст]: учеб. пособ. / Герман-Галкин С.Г. – СПб, 2001 – 320 с.
- 4) Грачев П.Ю. Математические модели электромеханических и электромагнитных преобразователей для автономных энергетических установок [Текст]: Электричество, 2010, № 3, 35–39 с.

5) Музыка М.М. Совершенствование полупроводниковых преобразователей с трансформаторами с вращающимися магнитными полями в судовых электротехнических системах [Текст]: учеб. пособ. / Музыка М.М. – Северодвинск, 2008 – 246 с.

6) Черевко А.И. Повышение качества электрической энергии в судовых электротехнических комплексах за счет применения преобразователей с трансформаторами вращающегося магнитного поля [Текст]: учеб. пособ. /Черевко А.И. – СПб, 2006 – 351 с.

*Дата поступления в редакцию: 24.07.2018 г.*

*Опубликовано: 29.07.2018 г.*

*© Академия педагогических идей «Новация». Серия «Студенческий научный вестник»,  
электронный журнал, 2018*

*© Соловьев Н.А., 2018*