

**СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

**Введение.** Использование тиристорных преобразователей (ТП) в автономных электроэнергетических системах (АЭЭС) приводит к потреблению ими несинусоидального тока и напряжения. В результате основная гармоника тока содержит реактивную составляющую, что приводит к искажению формы напряжения питающей сети и снижению коэффициента мощности. Нагрузка, подключенная к ТП, как правило нелинейна и генерирует в сеть высшие гармоники. Следствием этого является возникновение дополнительных потерь в источниках и приемниках электроэнергии, преждевременный выход из строя электрооборудования, ускоренное старение изоляции и т.д. [1].

Как правило, при выполнении сложных технологических операций на морских сооружениях (МС) (буровые суда, буровые платформы, дебаркадеры, плавкраны и т.д.) работают два и более ТП. То есть, было бы целесообразно усовершенствовать предложенные ранее методики спектрального анализа работы силовых полупроводниковых преобразователей (ПП) в АЭЭС МС [2, 3], что позволит учитывать работу нескольких ТП в составе АЭЭС МС.

**Постановка задач исследования.** В статье рассматриваются вопросы спектрального анализа работы силовых ПП в составе АЭЭС МС при разных режимах работы с помощью программного пакета Matlab/Simulink. Такой анализ необходим для расчета энергетических характеристик ТП, исследований вопросов электромагнитной совместимости (ЭМС) с источником питания и нагрузкой, проектирования силовых фильтров, диагностики неисправностей в ТП, а также определения коэффициента несинусоидальности кривой напряжения.

**Материалы исследования.** Однолинейная схема замещения АЭЭС МС [3], в состав которой входят несколько ТП с обобщенным Г – образным фильтром фазы А, приведена на рис.1.

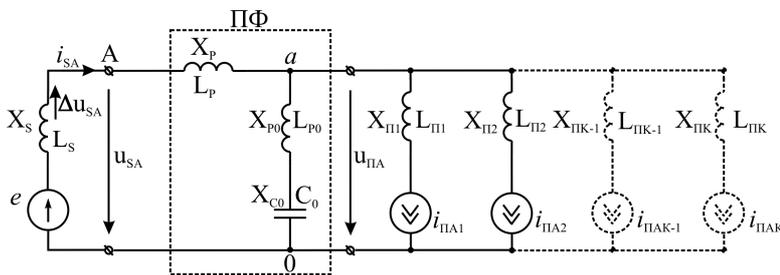


Рис. 1

Несинусоидальность кривой напряжения сети характеризуется следующими показателями, допустимые значения которых регламентируются различными нормативными документами, например ГОСТ 13109–97:

- коэффициент искажения синусоидальности (коэффициент несинусоидальности):

$$K_U = \left( \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^{v_{max}} U_{S(v)}^2}}{U_{S(1)}} \right) \cdot 100\% ; \quad (1)$$

- коэффициент  $v$ -й гармоники:

$$K_{U(v)} = (U_{S(v)} / U_{S(1)}) \cdot 100\% , \quad (2)$$

где  $U_{S(1)}$  и  $U_{S(v)}$  – соответственно действующие значения основной и  $v$ -й гармоник напряжения,  $v_{max}$

- наивысший порядок учитываемых гармоник.

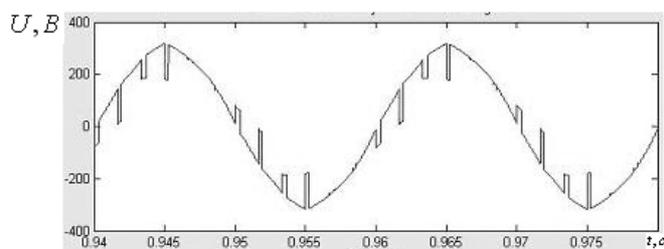
В [4] показано, что выражение определения коэффициента несинусоидальности напряжения сети может быть представлено в аддитивной форме

$$K_U = \sqrt{K_{UI}^2 + K_{UK}^2} , \quad (3)$$

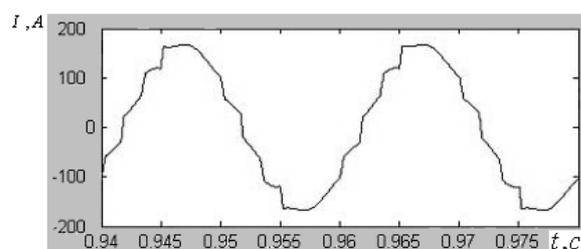
где  $K_{UI}$  и  $K_{UK}$  – составляющие коэффициента несинусоидальности, обусловленные идеализированными импульсами и коммутационными колебаниями.

На основании предложенной схемы замещения АЭЭС (рис.1) была составлена компьютерная модель системы в программной среде Matlab/Simulink. Модель позволяет исследовать протекающие электромагнитные процессы в АЭЭС МС в масштабе реального времени и с достаточной точностью определить коэффициент несинусоидальности при различных режимах работы оборудования.

Результатом моделирования является получение кривых тока и напряжения на шинах главного распределительного щита (ГРЩ), а также проведение гармонического анализа работы энергосистемы МС. Кривые приведены на рис. 2(а, б), 3(а, б), а в таблице 1 приведены экспериментальные, аналитические и смоделированные значения  $K_U$ .

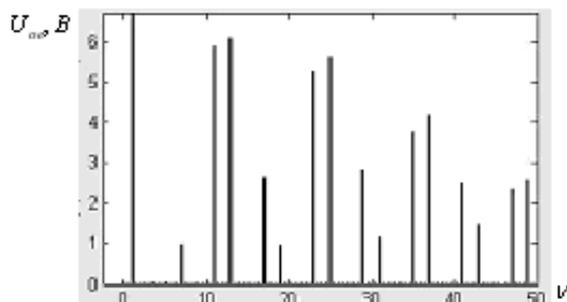


а) кривая напряжения на шинах ГРЦ

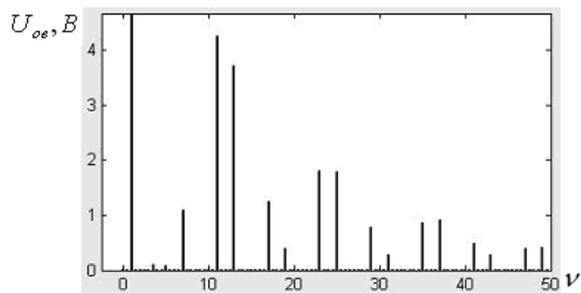


б) кривая тока на шинах ГРЦ

Рис. 2



а) анализ гармонического состава напряжения на шинах ГРЦ



б) анализ гармонического состава тока на шинах ГРЦ

Рис. 3

Таблица 1

| Виды анализа  | Нагрузка АЭЭС МС,<br>% | Коэффициент несинусоидальности |           |
|---------------|------------------------|--------------------------------|-----------|
|               |                        | $K_U, \%$                      | $K_I, \%$ |
| Эксперимент   | 80                     | 15,96                          | 8,01      |
| Расчет        | 80                     | 15,07                          | 7,21      |
| Моделирование | 80                     | 14,18                          | 6,62      |

### Выводы.

1. Использование приведенной методики позволяет получить более точные результаты анализа. Снижение погрешности достигается путем создания наиболее реальных условий работы всего технологического оборудования.
2. Спектры, полученные в результате анализа, позволяют рассчитать энергетические характеристики ТП, синтезировать ФКУ, если это необходимо, а также реализовать диагностику неисправности системы.
3. Предложенная методика определения коэффициента несинусоидальности позволит в течение короткого промежутка времени выполнить исследование АЭЭС МС в разнообразных штатных и нештатных режимах работы, значительно сократит время и средства на разработку и испытание схмотехнических решений по улучшению коэффициента несинусоидальности.
4. Из полученных кривых видно, что настройка ФКУ производилась на фиксированное значение ( $\nu = 7$ ), что показывает неэффективность его работы. Следовательно, более целесообразным является включение на входе преобразователей технологических механизмов, содержащих ТП регулируемых фильтрокомпенсирующих устройств.

### Литература.

1. Анисимов Я.Ф., Жук А.К., Симонян С.Т. Гармонический анализ высокочастотных колебаний напряжений на первичной стороне вентильных преобразователей // Изв. вузов. Электромеханика. – 1980. - № 11. С. 1210-1216.
2. Жук А.К., Запальский В.Н., Трибулькевич С.Л. Несинусоидальность напряжения в ЭЭС морских сооружений с полупроводниковыми преобразователями. Материалы конференции "Силовая электроника и энергоэффективность" СЭЭ'200 – Электротехника, 2006. – С 136 – 141.
3. Жук А.К. Анализ влияния тиристорного преобразователя на питающую сеть с учетом коммутационных колебаний // Электромашинобудовання та електрообладнання. 2003. №60. С. 39 – 47.