УДК 621.31: 658

**ВЛИЯНИЕ ТОКА СЛОЖНОЙ ФОРМЫ НА ПРОЦЕССЫ В**

**НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ**

*Д.В. Птицын, Е.В. Птицына, 1А.Б. Кувалдин*

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

1Московский энергетический институт, НИУ, г. Москва, Россия

*Аннотация*: *актуальность - повышение эффективности электротехнологических установок (электрических печей сопротивления косвенного нагрева) на основе применения тока сложной формы. Цель и задачи работы- экспериментальные исследования влияния тока сложной формы на процессы в нагревательных элементах; проведение лабораторных и промышленных исследований для получения зависимостей изменения тока в нагревательном элементе от спектрального состава высших гармоник. Использование полученных зависимостей для разработки алгоритмов управления электротехнологическими установками, обеспечивающими эффективный режим их работы.*

*Ключевые слова: нагревательные элементы, электрические печи сопротивления косвенного нагрева, ток сложной формы, эффективные режимы работы.*

В данной работе излагаются результаты исследований режимов работы нагревательных элементов. Применяемые нагревательные элементы в низкотемпературных электрических печах сопротивления косвенного нагрева разнообразны: нихромы, железохромоникелевые сплавы, чистые тугоплавкие металлы, неметаллические материалы. По исполнению нагреватели могут быть проволочными спиральными или зигзагообразными, ленточными зигзагообразными. Нагреватели из специальных сплавов с рабочей температурой до 16000С - это неметаллические нагреватели из дисилицида молибдена, карбида кремния, относящиеся к категории темных инфракрасных излучателей [1].

В [2] доказано, что применение новых электрических режимов в электротехнологических установках (ЭТУ) на основе применения тока сложной формы позволяет повысить эффективность работы установок. Регулирование спектра частот питающего напряжения в ЭТУ может быть реализовано с использованием управляемых полупроводниковых приборов (тиристоров), или нелинейных индуктивностей, регулированием подмагничивания.

Целью данной работы являются экспериментальные исследования влияния параметров электрических режимов на процессы в нагревательных элементах ЭТУ. Эксперименты выполнены в лабораторных условиях и на промышленных объектах. В опытах регулировали амплитуду питающего напряжения и его форму.

Промышленный эксперимент выполнен на установке для воздушно-плазменной резки металлов типа АПР-403-УХЛ4 с плазмотроном ПВР-402 в сталелитейном цехе №2 ПО «Павлодарский тракторный завод». Технические характеристики установки: напряжение питающей трехфазной сети 380 В, частота тока сети 50 Гц, потребляемая мощность 120 кВт, пределы регулирования тока 150 – 400 А, плазмообразующий газ – воздух [3].

Экспериментальные исследования выполнены также в лабораториях кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Павлодарского государственного технического университета им. С. Торайгыров (Казахстан) и кафедры «Теоретическая и общая электротехника» Омского государственного технического университета. Лабораторные установки содержали выпрямительные блоки на тиристорах (однофазная однополупериодная схема выпрямления, однофазная двухполупериодная схема выпрямления с выводом средней точки с вторичной обмотки трансформатора). Форму напряжения на нагрузке изменяли углом открытия тиристоров от системы импульсно-фазового управления (СИФУ). Опыты выполнены при фиксированных значениях сопротивления нагрузки (диапазон регулирования от положения «ХХ» до положения «R7»).

В экспериментах использованы два комплекта цифровых приборов: амперметры и вольтметры для измерения действующих значений синусоидальных тока и напряжения, и средневыпрямленных значений тока и напряжения на нагрузке. Для снятия осциллограмм форм напряжения на нагрузке и исследования его спектра использовали двухканальный USB – осциллограф совместимый с персональным компьютером в режимах «Осциллограф» и «Спектроанализатор».

Первая серия опытов выполнена при подключении нагревательного элемента в виде спирали из нихромовой ленты к источнику питания установки АПР-403-УХЛ4. В опытах ДН изменяли форму питающего напряжения. Результаты опытов представлены в табл. 1 [3].

Таблица 1 – Исследование процессов в нагрузке при протекании тока сложной формы

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Режим работы | Активная мощность, кВт | Ток, А | Напряжение, В |
| Обычный | 6,6 | 250 | 60 |
| Новый с питанием ТСФ | 17,4 | 420 | 120 |

Исследованиями установлено [3], регулирование формы напряжения (тока) обусловливает изменение значений реактивных сопротивлений в электрической схеме замещения технологического звена ЭТУ. Это изменение влияет на значение эквивалентного полного сопротивления, определяющего ток и активную мощность, потребляемую ЭТУ.

Вторая серия экспериментов выполнена в лабораторных условиях. Изменение формы питающего напряжения на нагрузке реализовано изменением угла открытия тиристоров. На рис. 1. – рис. 4 показано изменение спектра гармонических составляющих напряжения на нагрузке при регулировании угла открытия тиристоров для сопротивления нагрузки Rн3 [2,4], а в табл.2 соответствующее этим значения угла открытия тиристоров показано изменение тока нагрузки.

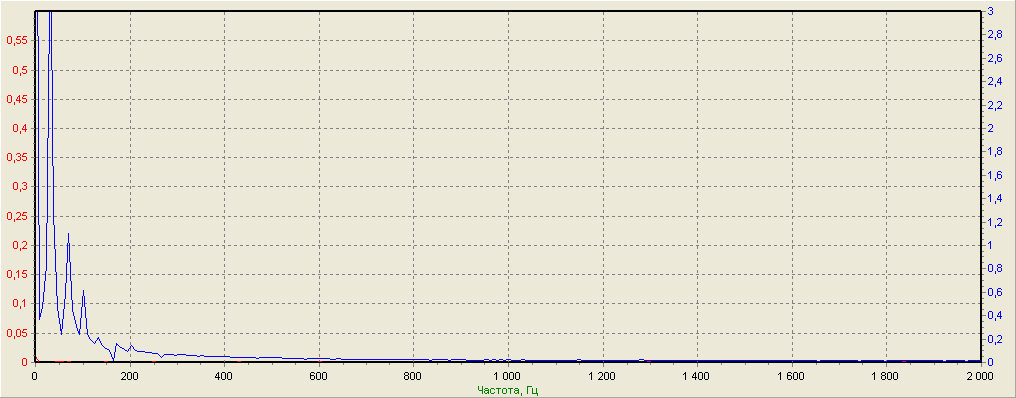


Рисунок 1 – Спектр гармоник напряжения на нагрузке при угле открытия тиристоров 00 и токе 79 мА (сопротивление в положении 3)

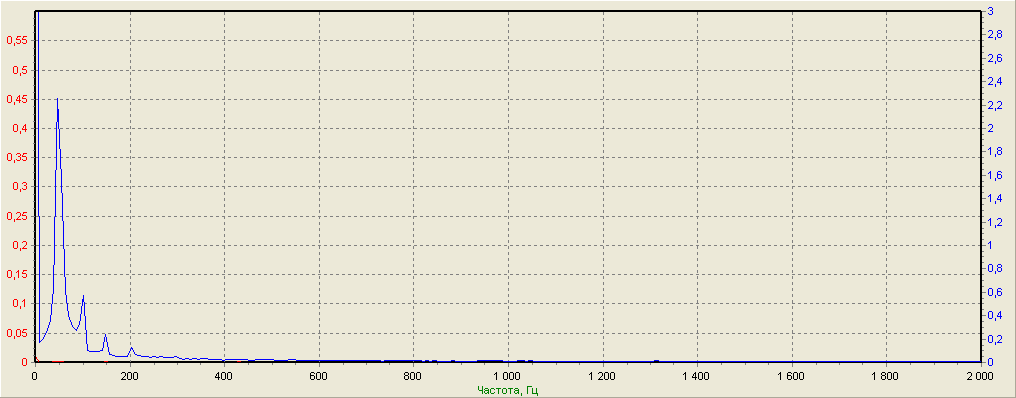


Рисунок 2 – Спектр гармоник напряжения на нагрузке при угле открытия тиристоров 150 (сопротивление в положении 3)

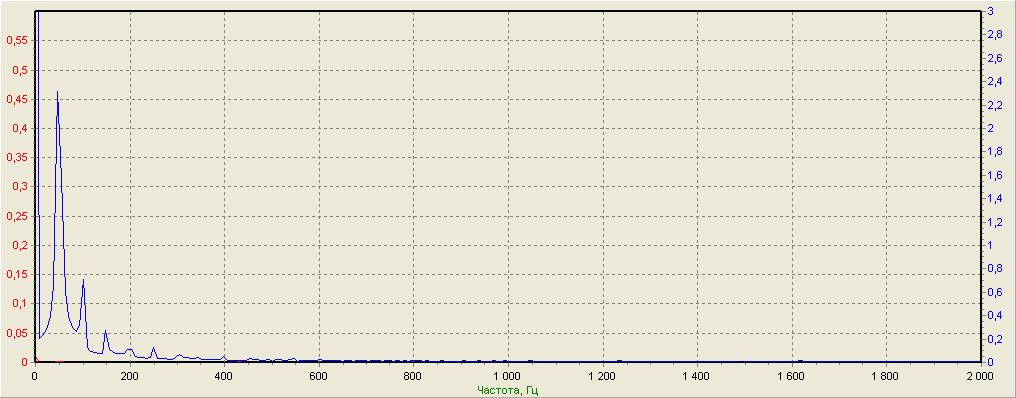


Рисунок 3 – Спектр гармоник напряжения на нагрузке при угле открытия тиристоров 300 (сопротивление в положении 3)

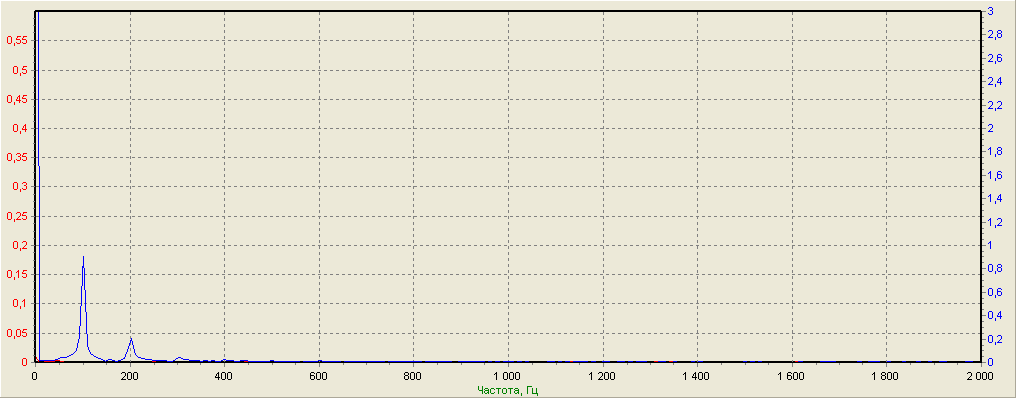


Рисунок 4 – Спектр гармоник напряжения на нагрузке при угле открытия тиристоров 600 (сопротивление в положении 3)

Таблица 2 – Исследование влияния формы питающего напряжения на параметры нагрузки

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Режим нагрузки** | **Угол открытия**  **тиристоров** | **Ток, мА** |
| Сопротивление в положении Rн3 | 00  150  300  600 | 31  43  61  73 |
| Сопротивление в положении Rн4 | 00  150  300  600 | 81  104  134  125 |
| Сопротивление в положении Rн5 | 00  150  300  600 | 141  150  206  199 |

Экспериментально установлено, что регулирование формы питающего напряжения, путем изменения угла открытия тиристоров, обусловливает изменение значения тока нагрузки. Наибольшие значения тока имели место при углах регулирования 30 и 600 в зависимости от значений сопротивления нагрузки. Анализ спектров показал, что они включают гармоники частот порядка 102 – 103 Гц. Аналогичные результаты получены для светлых инфракрасных и газоразрядных излучателей [2, 3]. В лабораторных исследованиях процесса предварительного обжига зеленых заготовок в печах сопротивления при графитизации электродов (г.Челябинский, электродный завод) установлено влияние тока сложной формы на качество продукции: формирование структуры графита на стадии обжига, то есть при низких температурах [5].

Библиографический список

1. Свенчанский, А.Д. Электротехнологические промышленные установки: Учебник для вузов [Текст] / И.П. Евтюкова, Л.С. Кацевич, Н.М. Некрасова, А.Д. Свенчанский; Под ред. А.Д. Свенчанского // Энергоиздат, 1982. – с., ил.

2. Птицына, Е.В. Электролизные и газоразрядные электротехнологические установки с питанием током сложной формы: Монография [Текст] / Е.В. Птицына; Под ред. А.Б. Кувалдина. – Павлодар: ТОО НПФ «ЭКО», 2007. – 420 с.

3. Экспериментальное определение влияния формы тока на характеристики излучателей / Е.В. Птицына, Д.В. Птицын, А.Б. Кувалдин // Энерго- и ресурсосбережение XXI век : сборник матер. IX – ой Международной научно-практической интернет-конференции, март-июнь. – Орел, 2011. – С. 163-165.

4. О влиянии параметров регулируемой катушки индуктивности на значение мощности, измеряемой в RLC- цепях / Е.В. Птицына, Д.В. Птицын, А.Б. Кувалдин // Энерго- и ресурсосбережение XXI век : сборник матер. XII – ой Международной научно-практической интернет-конференции, март-июнь. – Орел, 2014. – С. 61-64.

5. Птицына, Е.В. Применение токов сложной формы в технологических процессах графитизации и обжига / Е.В. Птицына, Ф.К. Бойко, С.А. Киреев // Наука и техника Казахстана. – Павлодар, 2001. - № 1. – С. 170-175.

**ЗАЯВКА**

**на участие в VI Всероссийской научно-технической конференции**

**«РОССИЯ МОЛОДАЯ: ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ-В ПРОМЫШЛЕННОСТЬ»**

**ФИО автора** 1**.** Птицына Елена Витальевна, 2.Птицын Дмитрий Вячеславович, 3. Кувалдин Александр Борисович

**Организация** Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Московский энергетический институт (НИУ), г. Москва, Россия

**Должность** 1**.** профессор кафедры «Теоретическая и общая электротехника», д.т.н.,

2. инженер ИТП «ГРАД» и по совместительству ассистент кафедры «Теоретическая и общая электротехника», 3. Профессор кафедры АЭТУС МЭИ, д.т.н., профессор, академик

**Название доклада** Влияние тока сложной формы на процессы в нагревательных элементах

**Название секции** Энергоэффективность, энергосбережение, энергоаудит

**Докладчик**

**Форма участия**

- пленарный доклад

-секционный доклад

**-заочное участие**

**Телефон** 65-3635

E-mail: evptitsyna@yandex. ru

**Информация об оплате** №\_15786\_\_\_\_\_от \_\_\_26 мая 2015\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Необходимость бронирования мест в гостинице** нет

Дата\_\_27.05.2015\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Подпись\_\_Птицына Е.В.\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_