

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Лившиц Александр Валерьевич

канд. техн. наук, заведующий кафедрой, доцент
ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный
университет путей сообщения»
г. Иркутск, Иркутская область

АСНИ ВЧ (АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ОБРАБОТКИ) И ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОБОЙНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЭЛЕКТРОТЕРМИИ

Аннотация: статья посвящена проблемам исследования высокочастотной обработки полимерных материалов. Обосновывается необходимость создания автоматизированной системы научных исследований высокочастотной обработки (АСНИ ВЧ), формулируются цели создания и требования к ее аппаратно-программному составу. Дана структурная схема аппаратной части АСНИ ВЧ с перечнем регистрируемых параметров технологического процесса электротермии. Исследуется процесс развития электрического пробоя, сопровождающего высокочастотную обработку, описывается имитационная модель данного процесса и формируется методологическая основа создания защитных контуров предотвращения пробойных явлений.

Ключевые слова: высокочастотная обработка, электротермия, автоматизация, полимеры, частичные разряды, система научных исследований, алгоритм, система управления.

Полимерные материалы широко применяются во многих отраслях промышленности, поскольку обладают рядом преимуществ, которые позволяют заменять традиционные материалы полимерами при изготовлении деталей, работающих при невысоких нагрузках. Вопросы, касающиеся технологий производства и эксплуатации изделий из полимерных материалов, изучены явно недостаточно. Существует большое количество аспектов данного вопроса, требующих научных

исследований. Высокочастотная (ВЧ) электротермия, применительно к полимерным материалам, является одним из прогрессивных способов обработки деталей, позволяющих восстанавливать их прочностные свойства, продлевая срок службы, диагностировать дефекты деталей, сваривать полимерные конструкции и т.д. [6]. Однако, вследствие наличия сложных законов изменения электрофизических параметров полимеров от температуры, времени нагрева и других факторов при реализации технологических процессов ВЧ-обработки возникает большое количество проблем: необходимость защиты от пробоя, контроля релаксационного состояния материала и температур нагрева, контроля влажности материала и др.

В связи с этим разработка технологических процессов электротермии полимеров и алгоритмов управления ими требует всестороннего исследования взаимосвязи электрофизических параметров работы оборудования и обрабатываемого материала, процессов, происходящих в материале при его нагреве, и отработки конкретных технических решений с использованием современной аппаратно-программной базы. Таким образом, создание полноценной автоматизированной системы научных исследований высокочастотной обработки (АСНИ ВЧ) с развитыми аппаратными и программными модулями трудно переоценить.

Создание АСНИ ВЧ должно преследовать следующие цели:

- повышение эффективности и качества научных исследований процессов высокочастотной обработки, а также применения сформированных на основе таких исследований методов, методик, технических решений в области высокочастотной электротермии для проектирования технологических процессов, автоматизированных систем управления;
- получение качественно новых научных результатов;
- сокращение сроков, уменьшение трудоемкости научных исследований и испытаний новых технических решений, найденных с помощью АСНИ ВЧ.

АСНИ ВЧ должна:

– состоять из развитой аппаратной части, позволяющей производить сбор электрофизических параметров оборудования и процессов электротермии с передачей в реальном времени для обработки средствами программного обеспечения ЭВМ;

– иметь в своем составе систему обработки экспериментальных данных;

– создаваться на базе серийных средств вычислительной техники широкого применения;

– быть построенной на принципах открытой архитектуры, допускать быструю адаптацию и модернизацию при расширении класса решаемых задач как в аппаратной, так и программной части;

– для быстрой адаптации системы при использовании различного электротермического оборудования должно быть минимизировано вмешательство в его схемную реализацию.

В соответствии со сформулированными выше требованиями была создана АСНИ ВЧ, в основу которой положено технологическое оборудование – ВЧ-генератор УЗП-2500 ($f=27,12$ МГц) (рисунок 1). Блок автоматизации [1, 2, 3, 5], выполняющий регистрацию, обработку и передачу информации строился на базе программируемого контроллера.



Рис. 1. ВЧ-генератор типа УЗП-2500

На рисунке 2 изображена структурная схема аппаратной части АСНИ высокочастотной обработки полимерных материалов [5, 6], содержащая: 1 – рабочий конденсатор ВЧ-оборудования; 2 – экранирующий корпус; 3 – переменный конденсатор регулирования напряжения рабочего конденсатора U_p ; 4 – источник постоянного напряжения; 5 – высокочастотный генератор; 6 – система управления сигнализацией; 7 – цепь управления генератором; 8 – исполнительный механизм; 9 – датчик анодного тока I_a ; 10 – программируемый логический контроллер (ПЛК); 11 – акустические датчики регистрации частичных разрядов; 12 – датчик температуры $T^{\circ}C$ [7]; 13 – помехозащищенный корпус ПЛК; 14 – персональный компьютер; 15 – экранирующий кожух рабочего конденсатора; 16 – датчик тока силовой цепи; 17 – коаксиальный кабель; 18 – датчик высокочастотного напряжения; 19 – датчик положения переменного конденсатора (емкость конденсатора); 20 – датчик перемещения высокопотенциальной плиты рабочего конденсатора; 21 – блок автоматизации.

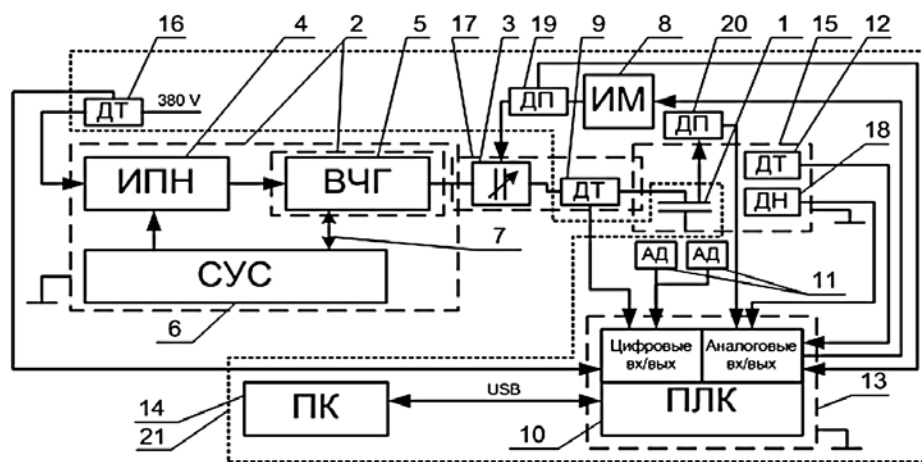


Рис. 2. Структурная схема аппаратной части АСНИ ВЧ

Данная архитектура позволила осуществить интегрированное внедрение разработанной системы автоматизации в существующую схему ВЧ-установки без изменения последней. В результате АСНИ ВЧ позволяет осуществлять сбор параметров работы оборудования и состояния материала, передавать их для обработки на ЭВМ (с возможностью расширения до 18 аналоговых и 56 цифровых каналов).

АСНИ ВЧ позволяет регистрировать и обрабатывать информация по следующим показателям:

- ток анодный высокочастотного генератора (А);
- ток силовой цепи (А);
- емкость рабочего конденсатора (мкФ),
- емкость переменного конденсатора регулирования напряжения рабочего конденсатора;
- напряжение U_p рабочего конденсатора;
- расстояние между обкладками рабочего конденсатора;
- частичные разряды.

В качестве ПЛК использована микроконтроллерная плата программируемого логического контроллера семейства Duino-Arduino на базе AtMega2560. Возможность быстрого перепрограммирования контроллера позволяет оперативно отлаживать программу управления в реальном режиме времени и при необходимости менять программу при реализации различных технологических процессов ВЧ-нагрева.

Программная часть состоит из управляющего программного обеспечения микроконтроллера и интерфейсной части, построенной на основе использования программы PowerGraph, позволяющей осуществлять сбор данных с различных измерительных устройств и приборов; производить регистрацию, визуализацию сигналов; математическую обработку в режиме реального времени и off-line; хранение, импорт и экспорт, редактирование и анализ экспериментальных данных. Все это значительно расширяет возможности АСНИ ВЧ и позволяет решать широкий круг задач в области ВЧ-нагрева.

При проведении натуральных испытаний с использованием описанной АСНИ ВЧ были отмечены возникающие в технологической системе электроды – обрабатываемый материал незначительные электрические разряды, которые изначально были идентифицированы как пробои. Ряд дендритных образований на поверхностях диэлектрических материалов и их исследование на диэлектрическую

прочность мегомметром и повторным воздействием ВЧ-поля не подтвердили наличие шунтирующих пробойных каналов.

Это дало возможность предположить, что данные явления относятся к частичным разрядам (ЧР). Проведя исследования широкого перечня полимеров различной толщины, было определено, что ЧР являются очень чувствительной характеристикой предпробойного состояния полимеров в процессе ВЧ-воздействия.

В результате проведенного эксперимента было получено семейство кривых, имеющих показательный вид:

$$n_{ij} = e^{A_{ij} + B\tau_{ij}}, \quad)$$

где: τ_{ij} – время возникновения разряда i -го материала j -го геометрического размера; n_{ij} – количество частичных разрядов i -го материала j -го геометрического размера; A_{ij} B_{ij} – коэффициенты аппроксимированных кривых.

Взяв кривую с максимальными временными показателями возникновения предпробойного состояния за исходную, аппроксимируя результаты эксперимента (достоверность аппроксимации $R^2 = 0,98$) было получено уравнение возникновения ЧР при ВЧ-обработке полимерных материалов:

$$n_{чр.КДЧР} = e^{-1,99 + 1,8\tau_{чр.расч.КДЧР}}, \quad (2)$$

или

$$\tau_{чр.расч.КДЧР} = \frac{\ln n_{чр.КДЧР} + 1,99}{1,8}. \quad (3)$$

где: $\tau_{чр.КДЧР}$ – расчетное время возникновения разряда; $n_{чр.КДЧР}$ – количество частичных разрядов.

Полученные экспериментальные кривые возникновения ЧР и аппроксимированная кривая динамики частичных разрядов (КДЧР) представлены на рисунке 4.

За начало развития предпробойного состояния, опираясь на результаты статистической обработки, был принят факт появления первого ЧР при соблюдении следующих условий (4):

$$\Delta\tau_{чр1} = \tau_{чр2} - \tau_{чр1} < 1,2 \text{ с}; \Delta\tau_{чр2} = \tau_{чр3} - \tau_{чр2} < 1,2 \text{ с}, \quad (4)$$

где $\Delta\tau_{чр1}$, $\Delta\tau_{чр2}$ – времена межрядных интервалов, $\tau_{чр1}$, $\tau_{чр2}$, $\tau_{чр3}$ – время возникновения 1-го, 2-го, 3-го частичного разрядов с начала обработки соответственно. В этом случае, момент начала реализации управляющего воздействия по снижению мощности энергетического воздействия совпадает с временем возникновения третьего ЧР. При невыполнении выражений (4) начало отсчета ЧР смещается к следующему по времени разряду.

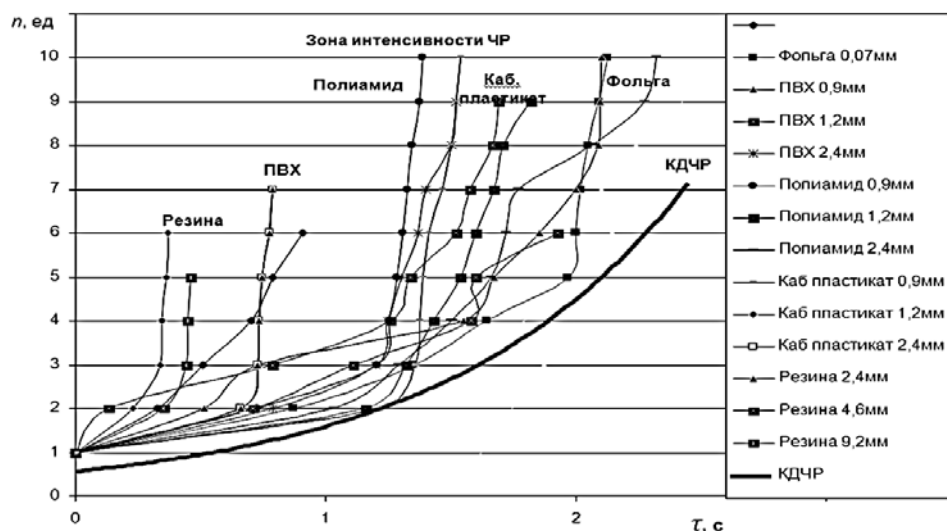


Рис. 4. Кривая динамики частичных разрядов (КДЧР)

Дополнительно необходимо отметить, что исследуемые образцы полимерных материалов (с целью выбора однородных по составу и качеству) перед испытанием проходили кондиционирование, чистку, проверку на наличие включений, неровностей, заусенцев и др. Заготовки в производственных условиях могут иметь значительные различия как по физическому, так и по химическому составу. Все это значительно изменяет электрофизические параметры полимеров, используемых в промышленности. Снижение качества материала увеличивает вероятность возникновения пробоя. Ухудшение электрофизических параметров полимеров (присутствуют в реальных условиях всегда) приводит к смещению

данных его предпробойного состояния в левую область кривых рисунка 4, т.е. в область материалов с более активными динамическими показателями ЧР. Поэтому можно говорить о том, что КДЧР отображает показания времени развития ЧР при идеально-лабораторных условиях, которые отсутствуют в реальных производственных ситуациях. Отсюда, применительно к производственным условиям, значения данных динамики ЧР полимерных материалов всегда будут находиться в пределах зоны очерченной КДЧР. Таким образом, кривая динамики частичных разрядов (КДЧР) с плавающей точкой отсчета начала развития предпробойного состояния при его контроле по трем ЧР соответствует широкой номенклатуре полимерных материалов.

Вышесказанное позволяет говорить о том, что совокупность эмпирической зависимости (3) и алгоритма определения начала развития электрического пробоя определяет имитационную модель ВЧ-процесса, учитывающую возникновение предпробойного состояния для материалов со значительными отличиями по физико-химическим показателям и геометрическим размерам (толщине) позволяющую:

- во-первых, сформировать алгоритм функционирования защитного контура системы управления процессом высокочастотной обработки полимеров с целью предотвращения пробоя [4],
- во-вторых, организовать управление процессом ВЧ-обработки полимерных материалов с максимальной энергоэффективностью (работа в режиме предпробойного состояния).

Список литературы

1. Блок автоматизации устройства высокочастотной термообработки полимерных материалов. Патент на полезную модель №118916 / Н.Г. Филиппенко, А.В. Лившиц, А.Я. Машович С.К. Каргапольцев // Патентообладатель: ФГБОУ ВПО ИрГУПС. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 10.08.2013.

2. Лившиц А.В. Автоматизация высокочастотной термообработки полимерных материалов / А.В. Лившиц, А.Я. Машович, Н.Г. Филиппенко // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – Вып. 12 (59). – С. 357–362.

3. Лившиц А.В. Автоматизация процесса высокочастотного нагрева материалов на промышленной установке УЗП-2500 / А.В. Лившиц, А.Я. Машович, Н.Г. Филиппенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск: ИрГУПС. – 2011. – Вып. 2 (30). – С. 193–198.

4. Лившиц А.В. Блок защиты от электрического пробоя автоматизированной системы управления процессами высокочастотной электротермии полимеров / А.В. Лившиц // Системы. Методы. Технологии. – Братск: БрГУ. – 2014. – №2 (22). – С. 84–89.

5. Лившиц А.В. Система управления и блок устройства автоматизации высокочастотной обработки полимерных материалов / А.В. Лившиц, С.К. Каргапольцев, Н.Г. Филиппенко // Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2011».: Докл. Междунар. конф [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sworld.com.ua /index.php/ru /transportation-411/maintenance-and-repair-of-transportation-411/11637 – 411 – 0277> (дата обращения: Октябрь 2011 года) – номер ЦИТ 411 – 0277.

6. Лившиц А.В. Технология электротермической обработки материалов полем высокой частоты / А.В. Лившиц, Н.Г. Филиппенко, А.Я. Машович // Научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов электромеханического факультета ИрГУПС – «Проблема транспорта Восточной Сибири» 21–22 апреля 2011г. – Иркутск: Изд-во ИрГУПС. – 2011. – С. 139–144.

7. Устройство измерения температуры поверхности объекта. Патент на полезную модель №132549 / А.В. Лившиц, С.И. Попов, Н.Г. Филиппенко // Патентообладатель: ФГБОУ ВПО ИрГУПС. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 20.09.2013.