

## ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

МАРТЫНОВ В.А., д-р техн. наук, КОРОЛЕВ А.Н., канд. техн. наук

**Рассматриваются основные направления научно-исследовательской деятельности кафедры ТОЭЭ в электротехнологии и электросварке.**

*Ключевые слова:* электротехнологии, электросварка, математическое моделирование.

## ELECTROTECHNICAL FUNDAMENTALS OF ELECTROTECHNOLOGICAL PROCESSES DEVELOPMENT

V.A.MARTYNOV, Ph.D., A.N.KOROLEOV, Ph.D.

**This paper is devoted to the main directions of EETF (Electroenergetics Theoretical Fundamentals) sub-faculty research activity in the fields of electrotechnics and electric welding.**

*Key words:* electrotechnics, electric welding, mathematical simulation.

Электротехнологические процессы основываются на непосредственном воздействии электрической энергии на технологическую среду. Широкий спектр электротехнологических установок связан не только с разнообразием видов применения электрической энергии в непосредственном достижении технологических целей, но и с постоянным совершенствованием электротехнического оборудования и способов управления им на основе современных компьютерных средств. Причем взаимосвязь многофакторности воздействия электрического тока на технологическую среду и совершенствования электротехнических средств реализации этого воздействия просматривается исторически, начиная с эпохального открытия электрической дуги в 1802 г. В.В. Петровым. Сделав это открытие и предсказав дальнейшие способы использования электрической дуги в практических целях, он не мог полностью реализовать их из-за отсутствия необходимых источников электрической энергии. Потребовалось еще более 80 лет, прежде чем эти источники были созданы и появилась возможность в полной мере оценить полученный В.В. Петровым результат.

Достоинство изобретателя электросварки Н.Н. Бенардоса, начавшего научно-изобретательскую деятельность на территории нынешней Ивановской области, в широте охвата проблем, с которыми он встречался. Если для получения электрической дуги нужен источник энергии, то его надо создать. И Н.Н. Бенардос создает аккумуляторный источник, позволяющий не только длительно удерживать дугу, но и регулировать ток в ней, что дает возможность исследовать ее свойства и рекомендовать ее для электрической сварки. Этот этап изобретательской деятельности Н.Н. Бенардоса отражается следующими заявками на изобретения: «Способ изготовления свинцового порошка для аккумуляторов», «Свинцовая губка для аккумуляторов», «Горизонтальный аккумулятор», «Гофрированный аккумулятор», «Губчатые аккумуляторы и способ изолировки аккумуляторных пластин пемзой», «Регулятор тока для аккумуляторов». Получив, таким образом, совершенно новый способ технологии изготовления и ремонта изделий из металла, Н.Н. Бенардос совершил революцию в промышленном производстве, на многие годы определив электросварку, как один из важнейших компонентов

технологического процесса практически во всех отраслях промышленности. Необходимо отметить, что Н.Н. Бенардос не ограничился открытием электросварки. Его пылкий ум продолжал работать над ее совершенствованием, расширением сфер ее применения, что во многом определило направления последующих инженерных решений. Так, в списке его более чем 200 официально зарегистрированных изобретений числятся и такие: «Автоматы для сварки металлическим электродом», «Автоматы для сварки угольным электродом (несколько систем)», «Сварка косвенно действующей дугой, горячей между двумя или несколькими электродами», «Дуговая сварка в струе защитного газа», «Магнитное управление сварочной дугой», «Контактная точечная электросварка».

Продолжая заложенные российскими учеными традиции в области электротехнологии сотрудники кафедры «Теоретические основы электротехники и электротехнологии» ИГЭУ многие годы занимались глубоким изучением взаимодействия электрического тока с окружающей средой и совершенствованием электротехнического и электротехнологического оборудования. В целом научные направления деятельности кафедры охватывают достаточно широкий круг проблем электроэнергетики, электротехники и электротехнологий, таких как: математическое моделирование электромагнитных полей в электротехнических установках и в биофизических системах; методы анализа и синтеза электромеханических систем; моделирование статических и динамических режимов сварочных источников; упрочняющая магнитно-импульсная обработка ферромагнитных материалов; разработка высоковольтных магнитотранзисторных преобразователей тока для электроэнергетики; микропроцессорные устройства релейной защиты; многофазные электроэнергетические системы; межсистемные электроэнергетические связи на основе управляемых ферромагнитных элементов; исследование феррорезонансных явлений в электроэнергетических системах.

Одной из основных частей работы в этих направлениях являются теоретические исследования и прикладные разработки в технологии сварки и оборудования для нее. Так, в 80-е гг. XX в. на кафедре решалась проблема электромагнитного формирования потолочных швов. Введением в зону сварки катушки индуктивности с ее электромагнитным полем достигалось значительное улучшение структуры металла, повышающего прочность шва за счет улучшения его однородности.

Научно-исследовательская работа по автоматизации сварочных автоматов и роботов базировалась на создании регулируемого электропривода переменного тока и системы управления им для регулируемой подачи сварочной проволоки в соответствии с показателями сварочного процесса. Задача обеспечения широкого диапазона изменения скорости при требуемой плавности работы на низких скоростях была решена за счет применения многофазного асинхронного электродвигателя, работающего в замкнутой системе управления [1]. При этом в связи с неординарностью многофазного асинхронного электродвигателя как объекта управления были разработаны математический аппарат приведенных спектральных векторов [2] и метод модульно-фазового управления электроприводом [3], позволяющий значительно упростить его схему. Одновременно многофазность электропривода дала возможность снизить токовую нагрузку на силовые коммутаторы и тем самым создать более надежную и компактную установку.

Основной проблемой при создании тренажера для электросварщиков было получение информации о положении электрода во время выполнения обучаемым тренировочного задания. При этом оказался неприемлемым широко применяемый при построении систем автоматического управления объектами подход, основанный на установке датчиков по отдельным координатам. Анализ способов получения информации о положении объекта при его свободном перемещении в ограниченном объеме показал, что наиболее рациональным является применение электромагнитных матриц, позволяющих по наведенным ЭДС от источника электромагнитного поля, жестко связанного с электродом, определять как его отклонение от заданной траектории, так и скорость передвижения по ней [4].

В настоящее время на кафедре активно ведется работа по математическому моделированию статики и динамики сварочных трансформаторов и сварочных источников на их основе [5, 6]. Электромагнитные процессы в сварочных трансформаторах существенно отличаются от процессов в силовых трансформаторах. Сварочная дуга является нелинейным элементом, поэтому при синусоидальном первичном напряжении тока, магнитные потоки и вторичное напряжение являются несинусоидальными, при этом вторичный ток при работе может меняться от нуля в режиме холостого хода до тока короткого замыкания. В то же время сам сварочный трансформатор конструктивно отличается от силовых трансформаторов большими потоками рассеяния, наличием магнитных шунтов, смещением обмоток и другими особенностями. Несмотря на появление в последние годы эффективных численных методов расчета динамических процессов электромагнитных устройств и внедрение в инженерную практику расчетов быстродействующей вычислительной техники, анализ режимов работы сварочных трансформаторов, как правило, прово-

дился теми же методами, что и силовых трансформаторов, с использованием схемы замещения и символического метода. Очевидно, что такой подход базировался на довольно грубых допущениях и неадекватен возможностям современной вычислительной техники. Поэтому задачу расчета и оптимизации сварочных трансформаторов было предложено решать наиболее современными методами переменных состояния. На основе этих методов была разработана универсальная математическая модель, позволяющая анализировать статические и динамические процессы в сварочных трансформаторах самых разнообразных конструкций.

При моделировании процессов в сварочном трансформаторе было принято следующее допущение: насыщение магнитной цепи обусловлено только магнитными потоками, замыкающимися по стальным участкам магнитопровода, а потоки рассеяния отдельных ветвей трансформатора, замыкающиеся по немагнитным участкам, могут быть учтены соответствующими линейными индуктивностями рассеяния. Очевидно, что это допущение позволяет получить достаточно точную математическую модель электромагнитных процессов, что дает возможность анализировать характеристики сварочных трансформаторов различных конструкций, близкие к реальным.

В плане развития электротехнологического направления представляет научно-практический интерес тема магнитно-импульсного упрочнения металлов при обработке их с помощью созданного на кафедре генератора мощных электромагнитных импульсов, позволяющих значительно повысить стойкость режущего инструмента. Интересующие практиков результаты были достигнуты при математическом моделировании процесса индукционной закалки [7]. В настоящее время на кафедре в силу достаточно высокого уровня квалификации ее профессорско-преподавательского и учебно-вспомогательного персонала, его готовности расширять контакты по решению сложных научно-производственных задач с промышленными предприятиями проводятся и другие научно-исследовательские и прикладные работы в области электротехнологии и электросварки.

В нашем регионе проблема широкого применения электросварки возникла по причине низкого качества подготовки инженерных кадров для организации сварочного процесса и недостаточного количества специалистов. Именно поэтому региональным руководством была поддержана инициатива ИГЭУ по открытию новой специальности «Электротехнологические установки и системы» со специализацией «Электросварочные установки и системы». При этом кафедра «Теоретические основы электротехники и электротехнологий», на которой осуществляется подготовка специалистов, организовала учебный процесс таким образом, чтобы он строился не только на изучении основ конструирования и эксплуатации электротехнологических и электросварочных источников питания и современных способов управления ими, но и на глубоком освоении технологических аспектов различных видов электротехнологий и электросварки. Это по-

зволило в 2006 г. осуществить первый выпуск высококвалифицированных инженеров, количество заявок на трудоустройство которых превысило количество выпускников.

#### Список литературы

**1. Королев А.Н., Голубев А.Н., Куликов К.В.** Многофазный частотно-управляемый электропривод: Мат-лы науч.-техн. конф. «Бенардосовские чтения». – Иваново, 1983.

**2. Королев А.Н.** Аппарат приведенных спектральных векторов для анализа и синтеза многофазных асинхронных электромеханических систем // Исследование электромагнитных процессов в энергетических установках: Межвуз. сб. науч. тр. – Иваново, 1988.

**3. Королев А.Н.** Принцип модульно-фазового управления многофазными асинхронными двигателями

// Методы анализа и синтеза систем управления многодвигательными электроприводами: Межвуз. сб. науч. тр. – Иваново, 1985.

**4. Korolev A.N., Nikiforov A.P., Motovilov A.S.** Induction indicator of location in a limited volume. Actual problems of electrical drives and industry automation. – Tallinn, 2006.

**5. Королев А.Н., Мартынов В.А.** Универсальная математическая модель сварочного трансформатора // Актуальные проблемы энергосберегающих электротехнологий: Тр. Всерос. науч.-техн. конф. – Екатеринбург, 2006.

**6. Мартынов В.А.** Современные модели и методы расчета нелинейных электромеханических устройств. – Иваново, 2000.

**7. Голубев А.Н., Кадников С.Н.** Методика математического моделирования процесса индукционной закалки // Вестник ИГЭУ. – 2006. – Вып. 2.

*Мартынов Владимир Александрович,*

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой теоретических основ электротехники и электротехнологии,  
телефон (4932) 26-99-08,  
e-mail: zav@toe.ispu.ru

*Королев Анатолий Николаевич,*

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
кандидат технических наук, доцент кафедры теоретических основ электротехники и электротехнологии,  
телефон (4932) 26-99-03,  
e-mail: zav@toe.ispu.ru