

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Старикова Александра Владимировича  
на диссертационную работу Мишина Алексея Владимировича  
«Разработка и исследование элементов системы управления сварочным  
инвертором с низкой чувствительностью к параметрическим изменениям»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по спе-  
циальностям: 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и сис-  
тем управления», 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

### **Актуальность темы диссертационного исследования**

В настоящее время сварочные аппараты, выполненные на основе инвертора, получают все более широкое распространение. Сварочные аппараты такого рода надежны, имеют низкие массо-габаритные показатели, удобны в применении в быту и на производстве, обладают возможностью регулирования сварочного тока в широких пределах, экономичны, могут применяться в различных условиях. Стоимость таких аппаратов ниже по сравнению с классическими сварочными устройствами такой же мощности, что зачастую является основополагающим критерием при выборе сварочного оборудования.

Однако, для осуществления сварочных работ, необходимо обладать определенными навыками ведения сварки. Отсутствие таковых не исправляется качеством сварочного оборудования. В процессе сварочных работ человек (сварщик) оказывается включенным в контур управления, и его психофизические параметры напрямую влияют на качество выполняемых работ, например, качество сварочного шва, время выполнения сварочных работ и т.п. Сварочная дуга так же имеет случайную составляющую, зависящую от конкретного сварщика, степени подготовленности и состояния свариваемых поверхностей.

Представленная работа, безусловно, актуальна, т.к. посвящена разработке и исследованию элементов системы управления сварочными инверторами с целью снижения чувствительности к параметрическим изменениям и снижению влияния сварщика на динамику процесса.

## **Структура, содержание и объем диссертации**

Диссертация выполнена на кафедре «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов» Ульяновского государственного технического университета. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных результатов и выводов, списка цитируемой литературы из 123 наименований и 4 страниц приложения. Общий объем диссертации 159 страниц машинописного текста, включающего 85 рисунков и 19 таблиц.

Во введении автором ставятся цель и задачи диссертационного исследования. Обосновывается актуальность исследования, приведены пункты научной новизны и практической ценности, основные положения, выносимые на защиту, методы и методология исследований, показана апробация работы и количество научных трудов, включающих публикации, патенты, свидетельства о регистрации программных продуктов.

Первая глава диссертации в большей мере носит обзорный характер. Дано понятие адаптации, классифицированы адаптивные системы и приемы их реализации. Описаны основные виды источников сварочной дуги, показаны их преимущества и недостатки, принцип работы и техническая реализация, представлены требования к сварочным источникам. Представлено описание человека-оператора как элемента системы автоматического регулирования, приведены его основные психофизические параметры.

Вторая глава рассматривает сварочную дугу как элемент системы управления. Описаны природа, условия возникновения и существования сварочной дуги, приведены основные математические соотношения, определяющие модель сварочной дуги. Представлена функциональная модель сварочной дуги и дана ее модель в программном комплексе МВТУ 4.0. Описаны основные виды инверторных источников сварочного тока, приведены их достоинства и недостатки, определен наиболее подходящий вариант инверторной схемы для решения поставленных задач. Приведены особенности работы высокочастотного трансформатора и процессы, возникающие в ходе его работы, такие как скин-эффект и эффект близости. Определены пути снижения влияния скин-эффекта и эффекта близости на работу

высокочастотного трансформатора, за счет применения в качестве вторичной обмотки ленточного проводника, ширина которого равна ширине самой обмотки. Описаны преимущества применения ленточной обмотки. Далее приведены алгоритмы работы адаптивных регуляторов, дано обоснование применения адаптивного регулятора.

В третьей главе приведен синтез системы управления сварочным инвертором с низкой чувствительностью к параметрическим изменениям, за счет применения упреждающей коррекции и адаптивного регулирования. Показано влияние упреждающей коррекции на показатель колебательности  $M$ . Проведенный анализ показывает эффективность применения упреждающей коррекции для стабилизации параметров работы инвертора тока с существенно динамической нагрузкой. Дано описание человека-оператора как звена системы автоматического регулирования, определены параметры, характеризующие процесс сварки с участием оператора. Проведен синтез адаптивного регулятора и вычислителя параметров случайного сигнала. Разработанный адаптивный регулятор позволяет выполнить адаптацию системы под конкретного оператора, за счет чего снижается дисперсия сварочного тока и достигается оптимальный режим работы.

Четвертая глава носит экспериментальный характер. Здесь представлены результаты исследований различных видов источников сварочной дуги под управлением разными операторами. Проведено моделирование источников сварочной дуги, а именно трансформаторного источника, с неуправляемым источником и управляемым источником. Моделирование показало экстремальность данных процессов в зависимости от параметров оператора и случайных сигналов. Проведено моделирование управляемого источника сварочной дуги с адаптивным регулятором, а так же исследована его работа на макете. Проведенное исследование показывает, что применение адаптивного регулятора позволяет снизить среднеквадратичное отклонение (дисперсию) до минимального значения в зависимости от конкретных параметров оператора и текущего значения случайных сигналов. Показана согласованность результатов моделирования с результатами натуральных экспериментов.

Заключение отражает основные результаты и выводы диссертации. В приложениях представлены листинг программы микроконтроллера для управления адаптивным регулятором и акт внедрения результатов исследования в учебный процесс.

### **Научная новизна проведенных исследований**

1. Предложено использовать упреждающую коррекцию в системе управления сварочным инвертором для снижения чувствительности к вариациям параметров объекта.
2. Предложено использовать адаптивный регулятор в системе с целью снижения дисперсии сварочного тока (имеется патент на адаптивный регулятор).
3. Разработана модель системы управления процессом сварки, учитывающая влияние человека-оператора как звена системы автоматического регулирования.

### **Значимость для науки и практики**

Полученные в диссертации результаты представляют научный интерес для совершенствования систем управления сварочным оборудованием на основе инверторов тока.

Практическая значимость работы заключается в том, что применение разработанных элементов в системах управления сварочными инверторами позволит снизить уровень дисперсии сварочного тока, а так же скомпенсировать влияние внешних факторов, таких как неровность кромок свариваемых поверхностей, дрожание кисти сварщика, расход электрода, вибрация электрода и т.п. на систему, что позволит увеличить качество сварного шва, уменьшить число обрывов дуги и технологических коротких замыканий. Применение такого рода систем управления сварочными инверторами в еще большей степени повысит привлекательность данного оборудования для потребителя.

Результаты диссертационного исследования внедрены в учебный процесс в виде учебного пособия для бакалавров направления «Электроэнергетика и электротехника» 13.03.02.

## **Соответствие требованиям по выполнению, оформлению и апробации работы.**

Структурно диссертация состоит из введения, 4-х глав с выводами по каждой главе, общего заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации – 159 страниц. Диссертация снабжена большим количеством хорошо оформленного иллюстративного материала, использованы современные текстовые, графические и математические редакторы. В целом диссертация оформлена качественно и с соблюдением основных требований.

Автореферат в полном объеме отражает основное содержание диссертации.

Основные положения диссертационного исследования докладывались и обсуждались на семи Международных и Всероссийских конференциях. Научные и практические результаты диссертации изложены в достаточном количестве научных работ – 18 работ, включая 5 статей из перечня ВАК, 1 патент на полезную модель, 2 патента на изобретение, 2 свидетельства о регистрации программно-информационного продукта.

### **Замечания по работе**

1. Функциональная схема (рис. 2.6), приведенная на стр. 40 диссертации не соответствует системе уравнений (2.5), представленной на стр. 39. В частности, в системе уравнений нет таких параметров, как  $T$ ,  $T_1$  и  $T_\mu$ .
2. Если напряжение трансформатора выпрямляется, то, на мой взгляд, в передаточной функции (2.10) должен появиться некий коэффициент  $k_{cx}$  схемы выпрямления.
3. Если выражение (3.31) найдено правильно, то формула (3.33) должна выглядеть следующим образом

$$K_1^2 T + K_1 K = K .$$

4. В формуле (3.34), приведенной на стр.83 диссертации, а именно,

$$W_o(p) = \frac{P}{T_o p + 1}$$

под символом  $T_o$  понимается постоянная времени дифференцирования. Но ведь исходя из этой формулы следует, что постоянная времени

