

**ПРИМЕНЕНИЕ ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ДУГИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ С ЕМКОСТНЫМ ОГРАНИЧЕНИЕМ СВАРОЧНОГО ТОКА**

**В.Н.Сидорец, Д.Д.Кункин,**  
**Институт электросварки им. Е.О.Патона НАН Украины,**  
**ул. Боженко, 11, Киев, 03680, Украина.**

*Предложено применение обобщенной модели динамической дуги для исследования условий горения сварочной дуги, которая питается от источника с емкостным ограничением сварочного тока. Разработаны методики анализа переходных и стационарных процессов в цепи со сварочной дугой переменного тока и емкостным ограничением. Рассмотрены методики исследования устойчивости горения дуги в подобных электрических цепях. Библ. 3, рис. 2.*  
**Ключевые слова:** электрическая дуга, обобщенная модель, емкостное ограничение, устойчивость.

Появление инверторных источников питания в ряду источников питания для дуговой сварки открыло, казалось бы, широкие перспективы их применения и вытеснения ими традиционных источников на базе сварочных трансформаторов. Но опыт последних десятилетий показывает, что сварочные инверторные источники лишь частично внедрились в сварочное производство, а традиционные источники прочно удерживают свои позиции как в Украине, так и технически развитых странах. Простота и надежность работы традиционных источников питания – это те свойства, которыми еще не обладают инверторные источники, содержащие большое количество силовых электронных приборов. Привлекательность традиционных источников объясняется еще и их высокой электромагнитной совместимостью, которая обусловлена низким уровнем высших гармоник тока [2].

Совершенствование традиционных сварочных источников питания идет по пути устранения их основного недостатка – большой массы сварочного трансформатора, которая обусловлена необходимостью обеспечения высоких значений напряжения холостого хода трансформатора для стабильного горения сварочной дуги и устойчивости всего сварочного процесса. Сформировалось несколько направлений преодоления этой проблемы: применение умножителей напряжения, устройств стабилизации горения дуги и емкостное ограничение сварочного тока. Остановившись на последнем, отметим, что накопилось достаточное количество результатов экспериментальных исследований, которые свидетельствуют о технологической перспективности этого направления. Однако результаты электротехнических исследований обрывочны и трудно поддаются систематизации.

Таким образом, является актуальной проблема исследования условий горения сварочной дуги, которая включена последовательно с конденсатором, являющимся ограничителем сварочного тока. Эта задача относится к анализу нелинейных электрических цепей, для которых методы исследования развиты недостаточно и зачастую бывают индивидуальными. Настоящее исследование посвящено разработке методик анализа переходных и стационарных процессов сварочной дуги переменного тока с емкостным ограничением. Обсуждаются также методики исследования устойчивости горения дуги в подобных электрических цепях. Как было показано в работе [1] обобщенная математическая модель динамической дуги наиболее адекватно описывает динамику электрической дуги как элемента электрической цепи. Она учитывает не только нелинейность статической вольт-амперной характеристики, но и термическую инерционность столба. Именно термические процессы и, в первую очередь, процесс ионизации-деионизации, влияют на проводимость плазмы столба дуги. Столб дуги переменного тока 50 Гц при каждой смене полярности успевает деионизироваться, что требует повышенного напряжения для поддержания разряда. Если источник питания не может обеспечивать необходимое напряжение зажигания в момент перехода тока через ноль, которое зависит от разности фаз тока и напряжения, дуга гаснет.

Разность фаз может иметь индуктивный или емкостной характер.

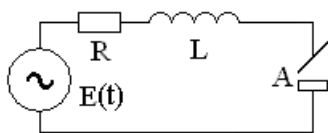


Рис. 1

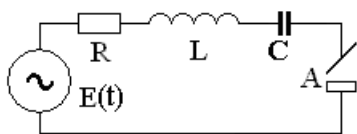


Рис. 2

Цепи, показанные на рис. 1 и 2, представляют собой упрощенные схемы силовых частей традиционных сварочных источников питания переменного тока, подключенные к дуге А. Во второй цепи (рис. 2) при преобладании емкостной составляющей сопротивления над индуктивной наблюдается емкостной характер сдвига фаз. Системы дифференциальных уравнений, которые описывают эти цепи, состоят из уравнений Кирхгофа и уравнения обобщенной математической модели динамической дуги.

В компьютерных математических пакетах MathCAD, MATLAB, Maple, Mathematica имеются процедуры для интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Однако эти процедуры обеспечивают непрерывное интегрирование, т.е. получение переходных процессов, и не приспособлены для получения стационарных (периодических) процессов. Непосредственное применение их невозможно. Требуется доработка, модификация и адаптация их для задач подобного класса.

Авторами данной статьи успешно применялся модифицированный метод стрельбы для получения периодических решений в автономных электрических цепях с дугой [3]. Их можно приме-

нить и к неавтономным цепям с дугой. В этом методе задача Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений сводится к краевой задаче. Но, в отличие от классической краевой задачи, краевые условия являются условиями через период (в нашем случае через полпериода).

Для нахождения решения применялся метод Ньютона-Рафсона. Итерационная процедура для него требует знания значений производных фазовых переменных по краевым условиям. Поэтому совместно с основной системой дифференциальных уравнений, решалась система в вариациях.

Из решений системы в вариациях можно составить также так называемую матрицу монодромии. Согласно теории Флоке по собственным значениям этой матрицы можно судить об устойчивости периодического решения: если все собственные значения лежат в единичной окружности комплексной плоскости, решение устойчиво, если вне единичной окружности, решение неустойчиво. Метод стрельбы хорошо зарекомендовал себя при исследовании режимов, близких к неустойчивости, т.е. к погасанию дуги.

1. *Пентегов И.В., Сидорец В.Н.* Энергетические параметры в математической модели динамической сварочной дуги // Автоматическая сварка. – 1988. – №11. – С. 36–40.

2. *Рымар С.В., Жерносеков А.М., Сидорец В.Н.* Влияние однофазных источников питания сварочной дуги на электрическую сеть // Автоматическая сварка. – 2011. – №12. – С. 9–15.

3. *Сидорец В.Н.* Метод многократной стрельбы для исследования бифуркаций динамических систем // Электронное моделирование. – 2006. – Т.28. – №4. – С. 3–13.

УДК 621.3.011.72:537.523.5:621.372.44:51-74

**ЗАСТОСУВАННЯ УЗАГАЛЬНЕНОЇ МОДЕЛІ ДИНАМІЧНОЇ ДУГИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ З ЕМНІСНИМ ОБМЕЖЕННЯМ ЗВАРЮВАЛЬНОГО СТРУМУ**

**В.М.Сидорець, Д.Д.Кункін,**

**Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України,  
вул. Боженка, 11, Київ, 03680, Україна.**

*Запропоновано застосування узагальненої моделі динамічної дуги для дослідження умов горіння зварювальної дуги, яка живиться від джерела з емнісним обмеженням зварювального струму. Розроблено методики аналізу перехідних та стаціонарних процесів у колі зі зварювальною дугою змінного струму та емнісним обмеженням. Розглянуто методики дослідження стійкості горіння дуги в подібних електричних колах. Бібл. 3, рис. 2.*

**Ключові слова:** електрична дуга, узагальнена модель, емнісне обмеження, стійкість.

**APPLICATION OF THE GENERALIZED MODEL OF DYNAMIC ARC FOR RESEARCH OF POWER SOURCES WITH CAPACITY LIMITATION OF WELDING CURRENT**

**V.M.Sydorets, D.D.Kunkin,**

**Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine,  
Bozhenko str., 11, Kyiv, 03680, Ukraine.**

*Application of the generalized model of the dynamic arc for the research of burning conditions of the arc, which is powered from a power source with a capacitive limit the welding current, has been proposed. The techniques of transient and stationary processes analysis in the circuit with an AC welding arc and capacitive limitation have been developed. The techniques of studying the stability of the arc in such electric circuits have been discussed. References 3, figures 2.*

**Key words:** electric arc, generalized model, capacity limitation, stability.

1. *Pentegov I.V., Sidorets V.N.* Energetic Parameters in Mathematical Model of Dynamic Welding Arc // Avtomaticheskaja svarka. – 1988. – №11. – Pp. 36–40. (Rus)

2. *Rymar S.V., Zhernosekov A.M., Sidorets V.N.* Influence of Welding Arc Single-Phase Power Sources on an Electric Network // Avtomaticheskaja svarka. – 2011. – №12. – Pp. 9–15. (Rus)

3. *Sidorets V.N.* Multi-Shooting Method for Research of Bifurcations of the Dynamic Systems // Elektronnoe modelirovanie. – 2006. – Vol.28. – №4. – Pp. 3–13. (Rus)

Надійшла 10.01.2012

Received 10.01.2012