

Д. т. н. В. Н. СИДОРЕЦ, к. т. н. А. И. БУШМА, к. т. н. А. М. ЖЕРНОСЕКОВ

Украина, г. Киев, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины

E-mail: sidvn@ua.fm

СХЕМОТЕХНИКА ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ С ХАОТИЧЕСКИМИ КОЛЕБАНИЯМИ ТОКА

Предложены схемы приставок к существующим источникам питания для создания импульсных хаотических колебаний тока сварочной дуги. Разработка схемных решений базировалась на результатах проведенных ранее исследований детерминированного хаоса в RLC -цепях с электрической дугой. Обсуждены преимущества и недостатки различных цепей с целью выбора схем приставок для практической реализации.

Ключевые слова: электрическая дуга, хаотические колебания, импульсно-дуговая сварка, схемотехника, источник питания.

Явление детерминированного хаоса [1–3] в нелинейных системах, обнаруженное несколько десятилетий назад, заинтересовало исследователей в первую очередь своими фундаментальными аспектами. Достаточно упомянуть об универсальной константе Фейгенбаума [3], которой характеризуется переход к детерминированному хаосу в нелинейных системах различной природы: механической, физической, химической, биологической, экологической и др. В последнее время наблюдается изменение направления исследований с фундаментального на прикладное. В качестве примера можно отметить разработки принципиально новых устройств защиты информации, хаотической радиолокации [4], устройств для диагностики патологий сердца [5].

Развитие наших исследований шло тем же путем. Детерминированный хаос был обнаружен в электрических цепях (рис. 1) со сварочной дугой [6], и были исследованы его фундаментальные свойства. Среди полученных результатов хотелось бы отметить проверку критериев детерминированного хаоса для RLC -цепей с дугой, выявление универсальных структур бифуркационных диаграмм и складчатой структуры периодических решений, определение функции отображения и фрактальной размерности аттрактора [7]. Бифуркационная диаграмма (рис. 2, внизу) демонстрирует, что при значениях параметра C , больших 3,039 ($R=15$, $L=1$, параметры R , L , C безразмерные), в цепи (рис. 1, а) возникают хаотические колебания. Положительность одного из показателей Ляпунова Λ (см. рис. 2, вверху), который является количественным критерием детерминированного хаоса, доказывает, что это действительно детерминированный хаос, а его образ в фазовом пространстве называется странным аттрактором.

Авторами были показаны технологические преимущества импульсных автоколебаний в цепях с лазерно-дуговым разрядом применительно к сварочным процессам [8, 9]. Объясняется это повышением давления плазменного столба на жидкий металл сварочной ванны (по сравнению с постоянным током), что приводит к увеличению ее глубины и, тем самым, к увеличению проплавления. Прямым следствием увеличения проплавления является увеличение производительности сварочного процесса. Есть основания считать, что применение хаотических колебаний также даст положительный эффект.

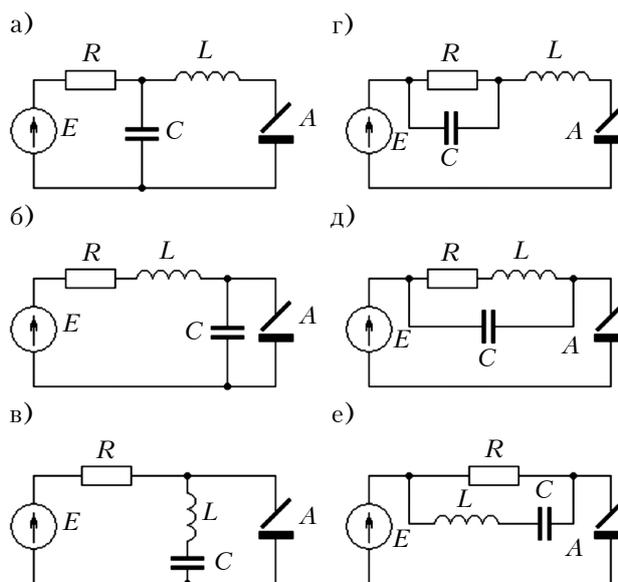


Рис. 1. Электрические цепи с дугой, в которых возможно возникновение хаотических колебаний тока

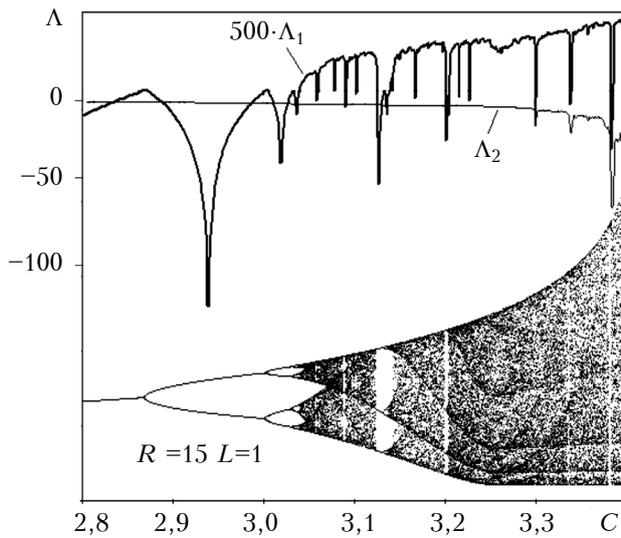


Рис. 2. Бифуркационная диаграмма и показатели Ляпунова [7]

Подтвердить это предположение могут только экспериментальные исследования, для проведения которых необходимо создать специализированные источники питания с хаотическими колебаниями тока. Выбор рациональных схемотехнических решений для этих источников питания и обоснование такого выбора было целью данной работы.

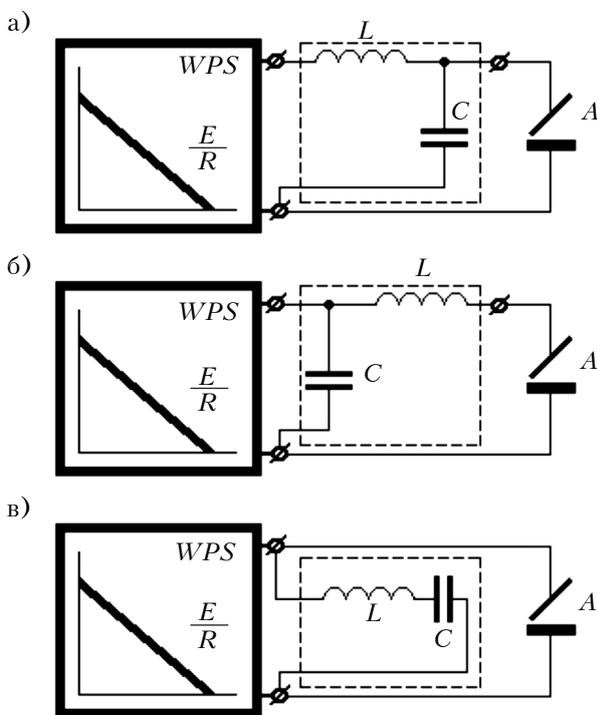


Рис. 3. Схемы приставок для создания периодических и хаотических колебаний тока и их подключение к сварочному источнику питания и дуге

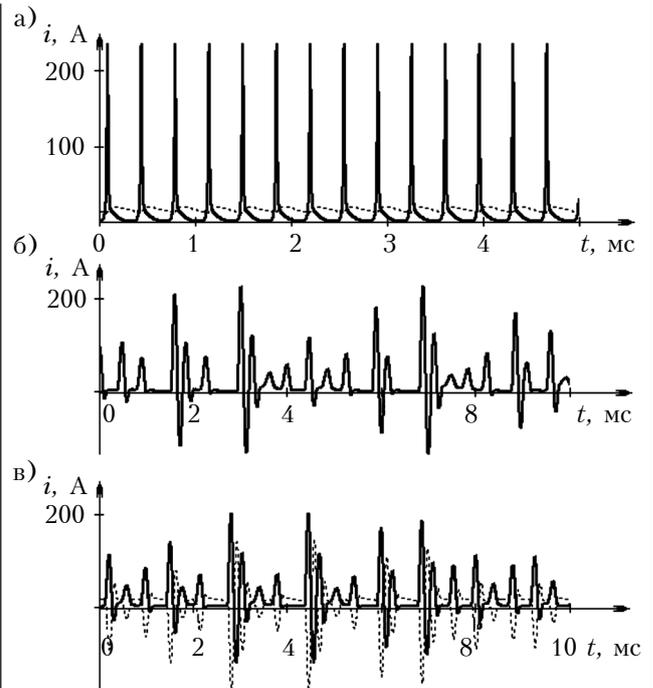


Рис. 4. Кривые тока дуги (сплошная) и тока реактора (пунктир), сформированные приставками к сварочным источникам постоянного тока

Решить поставленную задачу можно двумя путями: разработать специализированный источник питания или же разработать приставки к уже существующим источникам питания. Несмотря на всю перспективность первого пути, убедительным аргументом в пользу второго является наличие в промышленности огромного количества сварочных источников питания постоянного тока как традиционных, так и инверторных, функциональные возможности которых могут быть расширены без затрат больших средств путем применения разработанных приставок. Поэтому нами было решено идти вторым, что оправдано еще и сложившейся экономической ситуацией.

Ранее было установлено, что в шести RLC -цепях с дугой (см. рис. 1) возможно возникновение хаотических колебаний [10]. Очевидно, что в качестве приставки, схемы, представленные на рис. 1, не могут быть использованы, т. к. балластный резистор R в современных источниках питания не применяется, а наклон внешней характеристики источника реализуется управлением силовыми электронными ключами с использованием сигналов обратных связей. На рис. 3 изображены схемы приставок (выделены пунктирной линией) к сварочным источникам питания постоянного тока WPS.

В цепи, изображенной на рис. 3, а, могут возникать периодические автоколебания и хаотические (см. рис. 4, а), мало отличающиеся от периодических. Именно поэтому, по нашему мнению, эта цепь малоперспективна в качестве приставки для получения же хаотических колебаний

тока дуги. Для получения периодических релаксационных колебаний тока дуги, которые можно применить в процессе импульсно-дуговой сварки, эта цепь вполне пригодна. Так как импульсное воздействие тока осуществляется за счет разряда конденсатора непосредственно на дугу, действующее значение тока реактора $i(t)$ мало отличается от номинального тока источника питания. Этим объясняются малая масса реактора в этой приставке. К ее недостаткам можно отнести возможность полного разряда конденсатора при коротком замыкании дугового промежутка, что снижает стабильность процесса сварки.

В цепях, изображенных на рис. 3, б, в, могут возникать как периодические, так и хаотические автоколебания (рис. 4, б, в), причем последние значительно отличаются от периодических (рис. 4, а). Странные аттракторы, наблюдаемые в этих цепях, могут быть как ленточными, так и винтовыми. В режиме винтового странного аттрактора наблюдаются разнополярные колебания тока, что является непременным условием для сварки алюминия и его сплавов. Электрические и технологические возможности этих двух цепей одинаковы, но оценка массогабаритных показателей показывает небольшое преимущество цепи, изображенной на рис. 3, в, поскольку не весь сварочный ток (сплошная линия на рис. 4, в) протекает по ее реактору, а только его часть (пунктирная линия). Оценки показывают, что разность этих токов составляет не менее 10%. Конструктивным преимуществом приставки, изображенной на рис. 3, в, является отсутствие необходимости отсоединения дугового промежутка от клемм источника питания, что положительно влияет на оперативность ее подключения.

Предложенные приставки можно использовать для процесса импульсно-дуговой сварки.

Схему цепи, в которой последовательный LC-контур подключен параллельно как дуге, так и источнику питания, необходимо использовать при разработке приставки к существующим источникам питания для создания хаотических колебаний тока. Эту приставку в режиме винтового странного аттрактора, когда осуществляются разнополярные колебания тока, перспективно применять для сварки алюминия и его сплавов.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Берже П., Помо И., Видаль К. Порядок в хаосе. Детерминистский подход к турбулентности. — Москва: Мир, 1991.
2. Мун Ф. Хаотические колебания: Вводный курс для научных работников и инженеров. — Москва: Мир, 1990.
3. Шустер Г. Детерминированный хаос. — Москва: Мир, 1988.
4. Дмитриев А.С., Кислов В.Я. Стохастические колебания в радиопериферии и электронике. — Москва: Наука, 1989.
5. Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику. — Москва: Наука, 1990.
6. Сидорец В.Н., Пентегов И.В. Детерминированный хаос в нелинейных цепях с электрической дугой. — Киев: Международная ассоциация «Сварка», 2013.
7. Сидорец В.Н. Критерии детерминированного хаоса в нелинейных цепях с электрической дугой // Технічна електродинаміка. — 2009. — № 2. — С. 29–35.
8. Бушма А.И., Жерносеков А.М. Автоколебания в цепи с лазерно-дуговым разрядом как основа новых импульсных технологий // Технічна електродинаміка. — 2012. — № 2. — С. 103–104.
9. Бушма А.И., Сидорец В.Н. Технологические характеристики колебательного лазерно-дугового разряда // Вісник Чернігівського держ. технол. ун-ту. Серія «Технічні науки». — 2012. — № 2. — С. 96–100.
10. Sydorets V. The bifurcations and chaotic oscillations in electric circuits with arc // Modelling Dynamics in Processes and Systems. Studies in Computational Intelligence. — Vol. 180. — Berlin: Springer, 2009. — P. 29–42.

Дата поступления рукописи
в редакцию 19.12 2013 г.

В. М. СИДОРЕЦЬ, О. І. БУШМА, А. М. ЖЕРНОСЕКОВ

Україна, м. Київ, Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України
E-mail: sidvn@ua.fm

СХЕМОТЕХНІКА ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ІМПУЛЬСНО-ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ З ХАОТИЧНИМИ КОЛИВАННЯМИ СТРУМУ

Запропоновано схеми приставок до існуючих джерел живлення для створення імпульсних хаотичних коливань струму зварювальної дуги. Розробка схемних рішень базувалася на результатах проведених раніше досліджень детермінованого хаосу в RLC-колах з електричною дугою. Обговорено переваги і недоліки різних кіл з метою вибору схем приставок для практичної реалізації.

Ключові слова: електрична дуга, хаотичні коливання, імпульсно-дугове зварювання, схемотехніка, джерело живлення.

CIRCUITRY OF POWER SUPPLIES FOR PULSED ARC WELDING
WITH CHAOTIC CURRENT OSCILLATIONS

Phenomenon of deterministic chaos in nonlinear systems is of interest to researchers first of all for its fundamental aspects. Recently the tendency has changed from fundamental to applied research.

Deterministic chaos was found in electrical circuits with a welding arc and its fundamental properties were investigated. The technological advantages of pulsed oscillations in circuits with laser-arc discharge over welding processes were shown earlier. The authors have reason to believe that the application of chaotic oscillations also has a positive effect. Only experimental studies can confirm this assumption. The purpose of this work is to develop promising circuit solutions for specialized power supply with current chaotic oscillations.

Application of set-top boxes to the existing power sources to create chaotic oscillations of pulsed current arc has been proposed. The development of circuit design has been based on the results of previous studies of deterministic chaos in RLC-circuits with electric arc. The advantages and disadvantages of various circuits have been discussed in order to select schemes of set-top boxes for the practical implementation.

Keywords: electric arc, chaotic oscillations, pulsed arc welding, circuitry, power supply.

REFERENCES

1. Berge P., Pomeau Y., Vidal Ch. *L'Ordre dans le chaos. Vers une approche deterministe de la turbulence*. Paris, Hermann, 1985, 353p.
2. Moon F.C. *Chaotic vibration: an introduction for applied scientists and engineers*. New York, John Wiley&Sons, 1987, 309 p.
3. Schuster H.-G. *Deterministic chaos*. Weinheim: Physik-Verlag, 1984, 220 p.
4. Dmitriev A.S., Kislov V.Ya. *Stokhasticheskie kolebaniya v radiofizike i elektronike* [Stochastic oscillations in radio physics and electronics]. Moscow, Nauka, 1989, 280 p. (in Russian)
5. Loskutov A.Yu., Mikhailov A.S. *Vvedenie v sinergetiku* [Introduction to Synergetics]. Moscow, Nauka, 1990, 272 p. (in Russian)
6. Sidorets V.N., Pentegov I.V. *Determinirovannyi khaos v nelineinykh tsepyakh s elektricheskoi dugo* [Deterministic chaos in nonlinear circuits with electrical arc]. Kiev, International Association «Welding», 2013, 272 p. (in Russian)
7. Sidorets V.N. [Criteria of deterministic chaos in nonlinear circuits with an electric arc]. *Tekhnichna elektrodinamika*, 2009, no 2, pp. 29-35 (in Russian)
8. Bushma A.I., Zhernosiekov A.M. [Self-oscillations in a circuit with a laser-arc discharge as the basis of new pulse technologies]. *Tekhnichna elektrodinamika*, 2012, no 2, pp.103-104 (in Russian)
9. Bushma A.I., Sydorets V.N. [Technological characteristics the oscillatory laser-arc discharge]. *Visnik Chernivts'kogo derzhavnogo tekhnologichnogo universitetu. Seriya „Tekhnichni nauki”*, 2012, no 2(57), pp. 96-100 (in Russian)
10. Sydorets V. The bifurcations and chaotic oscillations in electric circuits with arc. *Modelling Dynamics in Processes and Systems. Studies in Computational Intelligence*, vol. 180, Berlin, Springer, 2009, pp. 29-42.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Богуш М. В. Проектирование пьезоэлектрических датчиков на основе пространственных электротермоупругих моделей. — Москва: Техносфера, 2013.

Книга посвящена проектированию пьезоэлектрических датчиков с использованием современных методов математического моделирования. Описаны критерии, алгоритмы и процедуры для рационального и целенаправленного выбора конструкции датчика, материалов и размеров деталей с помощью универсальных относительно геометрии изделия и способов приложения нагрузки численных пространственных электротермоупругих моделей. Это позволяет улучшить технические характеристики пьезоэлектрических датчиков за счет обоснованного выбора компромисса между информативностью и надежностью изделия в предполагаемых условиях эксплуатации. Эффективность предложенных методов подтверждается разработкой серии пьезоэлектрических датчиков с уникальными свойствами, нашедших широкое применение в вихревых и ультразвуковых расходомерах жидкости, газа и пара для систем промышленной автоматизации, которые широко применяются в промышленности.

Предназначена для специалистов, занимающихся проектированием и применением пьезоэлектрических преобразователей и датчиков в измерительных и управляющих системах, а также аспирантов и студентов технических вузов.

