

К. т. н. Ю. Э. ПАЭРАНД, А. Ф. БОНДАРЕНКО

Украина, г. Алчевск, Донбасский государственный
технический университет
E-mail: paerand@mail.ru, bondarenkoaf@nm.ru

Дата поступления в редакцию
24.05 2006 г.

Оппоненты д. т. н. В. К. ЛЕБЕДЕВ, А. А. ПИСЬМЕННЫЙ
(ИЭС им. Е. О. Патона, г. Киев)

ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ МИКРОСВАРКИ С ПРОГРАММИРУЕМОЙ ФОРМОЙ СВАРОЧНОГО ИМПУЛЬСА

Предложен источник питания для контактной микросварки, позволяющий повысить качество микросварного соединения путем обеспечения необходимой формы сварочного импульса.

Широкое применение в электронной промышленности и приборостроении находит контактная микросварка, к которой относят сварку деталей размером от нескольких микрометров до 0,5 мм.

Известно [1], что существенное влияние на условия нагрева, тепловыделения и на качество микросварного соединения оказывают величина и постоянство контактных сопротивлений. Известно также [2], что при неправильно подобранной программе параметров тока на начальных стадиях процесса сварки, когда проявляется наибольшая нестабильность контактных сопротивлений, может иметь место резкий перегрев металла в приконтактной области и, как следствие, его выплеск. В некоторых случаях наличие таких выплесков недопустимо.

Получение качественных микросварных соединений в настоящее время связано с применением источников питания, позволяющих формировать сварочные импульсы тока, напряжения и мощности специальной формы [3—6]. Важной задачей при создании таких источников питания является обеспечение необходимых динамических и энергетических параметров формируемых импульсов, их малой длительности, высокой воспроизводимости и возможности регулирования в реальном масштабе времени [3, 4, 6, 7]. Наибольшее распространение получили источники питания, обеспечивающие предварительный подогрев деталей импульсом тока малой мощности и сглаживание переднего фронта импульса сварочного тока [1], а также позволяющие программировать импульс сварочного тока, у которого мощность нарастает во времени по квадратичному закону [8]. Однако желаемое качество микросварных соединений такими способами удается получить не всегда. К тому же тенденция к миниатюризации элементов электронной техники ужесточает требования к параметрам сварочных импульсов и, соответственно, к характеристикам применяемого оборудования.

Целью настоящей работы является разработка источника питания для контактной микросварки, позволяющего повысить качество микросварного соеди-

нения путем обеспечения необходимой формы сварочного импульса.

Необходимая форма сварочного импульса может быть выбрана из следующих соображений. На начальной стадии процесса, когда происходит смятие микронеровностей, в случайных точках первоначального контакта образуются мостики. Для устранения перегрева этих мостиков до температуры кипения и выброса частиц из зоны контакта необходимо сохранить постоянную интенсивность тепловыделения на единицу площади истинного контакта:

$$q = \frac{Q}{S_k} = \text{const}, \quad (1)$$

где Q — общая интенсивность тепловыделения;
 S_k — площадь истинного контакта.

Если моделировать микронеровности поверхностей свариваемых деталей в виде пирамид с квадратным основанием [2, с. 11, 12, 99], то изменение размеров микронеровностей на начальном этапе сварки можно представить такой закономерностью:

$$y = y_0 + (a - y_0)(t/t_\Delta)^m, \quad (2)$$

где y — ширина стороны контактной площади;
 y_0 — начальная ширина стороны контактной площади;
 a — ширина основания контактной площади;
 t — текущее время;
 t_Δ — длительность протекания тока;
 m — показатель степени, зависящий от программы изменения давления электродов во времени.

На рис. 1 [2, с. 100] приведены зависимости ширины сторон контактных площадок y и их площади S_k в пределах времени длительностью t_Δ , построенные согласно соотношению (2). Анализ зависимости y на рис. 1 и выражения (2) показывает, что характер из-

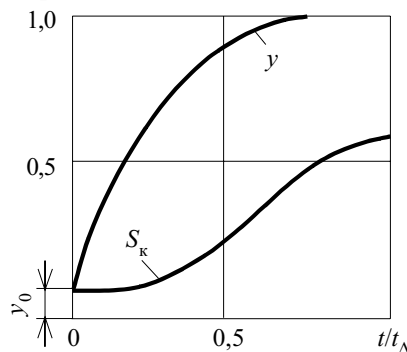


Рис. 1. Изменение геометрических параметров микронеровностей за время t_Δ

менения ширины сторон контактных площадок во времени нелинейный и может быть представлен степенной функцией. Так как в процессе смятия микронеровностей площадь контакта S_k увеличивается пропорционально второй степени ширины стороны контактной площадки, а общая интенсивность тепловыделения прямо пропорциональна мощности сварочного тока $P_{св}$, то условие постоянства тепловыделения (1) выполнится только в случае если $P_{св} = kt^n$, где $n=2m$, k — коэффициент пропорциональности.

Нелинейность зависимости u на рис. 1 свидетельствует о том, что условие постоянства тепловыделения на начальном этапе сварки можно выполнить подерживая показатель степени n , отличающийся от 2. Теоретическое определение необходимой величины n весьма затруднительно, поэтому на практике оптимальный закон изменения мощности импульса сварочного тока определяется опытным путем для каждого отдельно взятого случая (материал и конфигурация свариваемых деталей, программа изменения давления электродов во времени, материал и конфигурация сварочных электродов и т. д.). Характер изменения мощности при различных показателях степени n имеет вид, представленный на рис. 2, где t_ϕ — время фронта сварочного импульса (участок I), определяемое из условия выделения требуемого количества энергии ($0,2 \dots 0,4 W_{св}$); $t_{св}$ — время сварочного импульса; $t_{и}$ — время, соответствующее плоской вершине сварочного импульса (участок II).

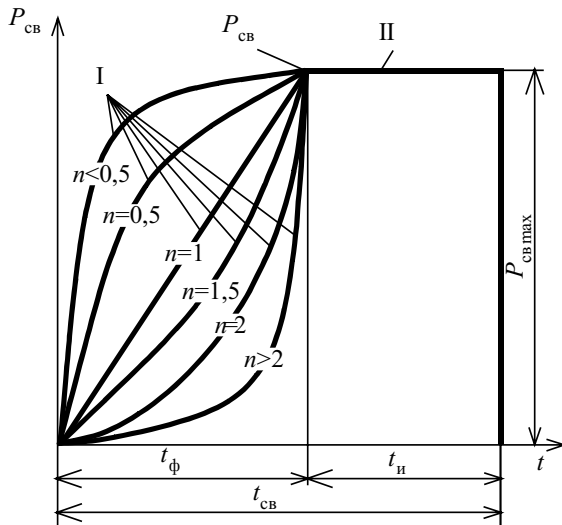


Рис. 2. Кривые мощности сварочного импульса для различных значений n

Таким образом, в течение времени, необходимого для стабилизации площади контакта свариваемых деталей (начальная стадия процесса), мощность сварочного тока необходимо увеличивать пропорционально времени в степени n — до выделения требуемого количества энергии. Для малогабаритных деталей она составляет $0,2-0,4$ от всей энергии сварки $W_{св}$ [8]. В дальнейшем площадь свариваемого контакта практически не изменяется, и мощность сварочного тока $P_{св}$ нужно поддерживать на постоянном уровне.

Закон изменения мощности на рассмотренных участках может быть записан в виде выражения

$$P_{св}(t) = \begin{cases} kt^n, & 0 \leq t \leq t_\phi; \\ P_{св\max}, & t_\phi \leq t \leq t_{св}. \end{cases} \quad (3)$$

Предлагается источник питания для контактной микросварки, позволяющий задавать необходимую форму сварочного импульса, обеспечивая при этом высокую точность регулирования (рис. 3). В состав источника питания входят источник сварочного тока ИСТ, регулятор сварочного тока РСТ, датчики сигналов обратной связи по сварочному току ДТ и по напряжению на электродах — ДН, блок перемножения БП, блок сравнения БС, буферный усилитель БУ и формирователь эталонного сигнала ФЭС.

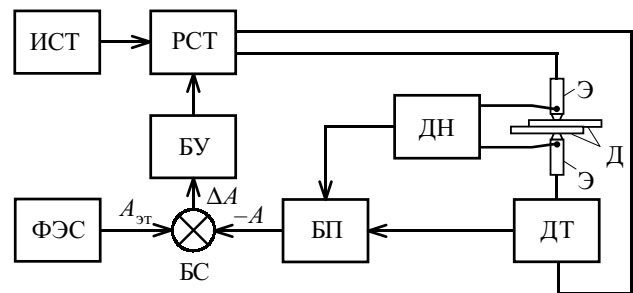


Рис. 3. Формирователь импульсов специальной формы для контактной микросварки

Источник питания работает следующим образом. После установки деталей Д и сжатия электродов Э источник питания запускается и в ФЭС начинает формироваться эталонный сигнал $A_{э\tau}(t)$, форма которого определяется из формулы

$$A_{э\tau}(t) = \begin{cases} k_1 t^n, & 0 \leq t \leq t_\phi; \\ A_{э\tau\max}, & t_\phi \leq t \leq t_{св}, \end{cases} \quad (4)$$

где $A_{э\tau}$ — амплитуда эталонного сигнала; k_1 — коэффициент пропорциональности.

Эталонный сигнал $A_{э\tau}$ подается на один из входов блока сравнения — и далее — на буферный усилитель, а с него — на регулятор сварочного тока. При этом в сварочном (силовом) контуре начинает протекать сварочный ток $I_{св}$, а на электродах возникает падение напряжения U_3 . Величины сварочного тока $I_{св}$ и напряжения между электродами U_3 преобразуются в датчиках ДТ и ДН в сигналы, пропорциональные этим величинам, и далее подаются на соответствующие входы блока перемножения. На выходе блока перемножения формируется сигнал, пропорциональный мгновенному значению мощности сварочного импульса:

$$A(t) = \frac{k_2}{t_{св}} \int_0^{t_{св}} U_3(t) \cdot I_{св}(t) dt, \quad (5)$$

где k_2 — коэффициент пропорциональности.

Далее этот сигнал ($-A$ на рис. 3) подается на второй вход блока сравнения. Блок сравнения выделяет разность между эталонным сигналом и сигналом, пропорциональным значению мгновенной мощности сва-

рочного импульса. Таким образом, формируется разностный сигнал ΔA , несущий информацию об отклонении действительного значения мощности сварочного тока от заданного значения. Он усиливается буферным усилителем до уровня, необходимого для управления регулятором сварочного тока. При этом регулятор сварочного тока уменьшает или увеличивает сварочный ток в цепи так, чтобы мощность импульса сварочного тока изменялась по закону, определяемому эталонным сигналом.

В качестве источника сварочного тока применен емкостный накопитель энергии. Регулятор сварочного тока построен на параллельно соединенных полевых транзисторах MOSFET. Датчик тока реализован на безындуктивном шунте и быстродействующем операционном усилителе. Датчик напряжения, блок сравнения и буферный усилитель выполнены на быстродействующих операционных усилителях, а блок перемножения — на микросхеме аналогового перемножителя. Формирователь эталонного сигнала реализован на микроконтроллере и цифроаналоговом преобразователе (ЦАП), благодаря чему появляется возможность программирования и оперативного изменения любых параметров формируемого эталонного сигнала и тем самым задания требуемых параметров импульса мощности в сварочном контакте.

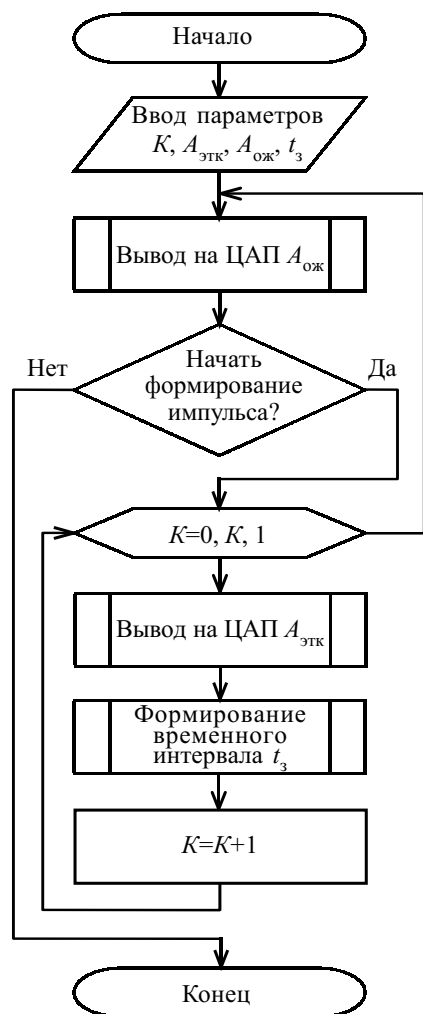


Рис. 4. Алгоритм формирования эталонного сигнала

При реализации ФЭС микроконтроллер используется для вычисления значений эталонного сигнала, а цифроаналоговый преобразователь — для преобразования этих данных в аналоговую форму. Реализация сложных временных зависимостей в микроконтроллере сопряжена, как правило, с трудностями организации вычислительного процесса. В таком случае рекомендуется создавать таблицы готовых решений (двоичных эквивалентов дискретных значений функции для каждого из периодов дискретизации) и записывать их в ячейки памяти микроконтроллера [9, с. 152]. В дальнейшем программа действий микроконтроллера сводится к последовательному опросу ячеек и выдаче кода на вход цифроаналогового преобразователя.

Формирование эталонного сигнала предлагается осуществлять следующим образом. На начальном этапе создается таблица данных, в которой содержится K элементов $A_{этк}$, соответствующих непрерывной функции $A_{эт}(t)$ на каждом интервале дискретизации Δt . Далее элементы таблицы данных $A_{этк}$, их количество K , значение сигнала в режиме ожидания запускающего импульса $A_{ож}$ и длительность интервала времени задержки $t_з$ заносятся в память микроконтроллера. Затем формирователь переходит в режим ожидания запускающего импульса и на его выходе устанавливается значение сигнала $A_{ож}$. При появлении запускающего импульса начинает выполняться цикл операций по выводу значений элементов таблицы данных на выход цифроаналогового преобразователя. В этом цикле осуществляется также формирование временной задержки заданной длительности, которая определяется необходимой скоростью обновления данных.

Алгоритм, реализующий описанный способ формирования эталонного сигнала, показан на рис. 4. Используя этот способ, можно задавать произвольные законы изменения эталонного сигнала. Существующие ограничения связаны только с требуемой точностью и минимально возможным временем вывода данных.

Авторами была проведена оценка повторяемости параметров резонаторов при изготовлении колебательных систем электромеханических фильтров (ЭМФ) с использованием предлагаемого источника питания. Конструкция колебательных систем ЭМФ представлена на рис. 5. В ее состав входят параллельно расположенные цилиндрические резонаторы, пьезоэлектрические преобразователи и проволоки связи. Микросварка используется для соединения цилиндрических резонаторов из элинварного сплава

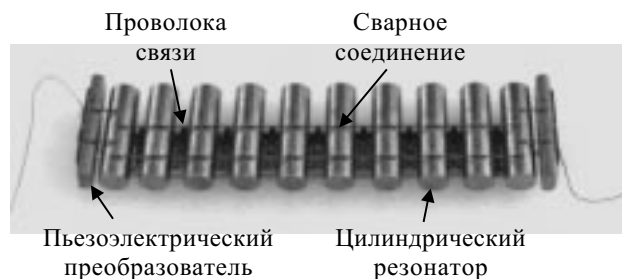


Рис. 5. Конструкция колебательной системы ЭМФ

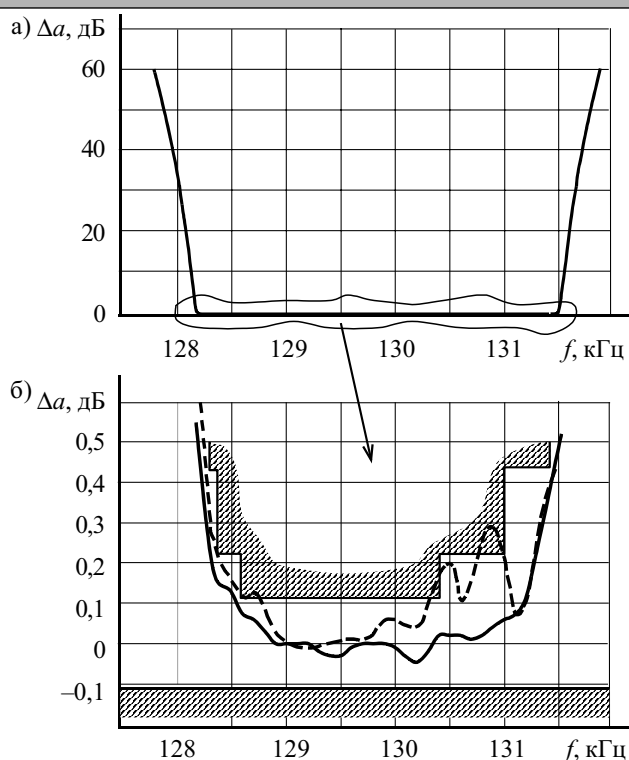


Рис. 6. АЧХ колебательных систем ЭМФ, полученные при сварке импульсами с показателем степени $n=2$ (штриховая кривая) и $n=1,8$ (сплошная кривая)

ва 44НХМТ диаметром 3 мм с проволокой 42НХТЮА диаметром 0,22 мм.

Наиболее чувствительным к свойствам сварного соединения параметром является резонансная частота резонаторов и коэффициент связи между ними, отклонение которых от нормы приводит к увеличению неравномерности АЧХ в полосе пропускания фильтра [10].

При задании различных по форме импульсов мощности сварочного тока (с различными показателями степени n) производилась сварка колебательных систем ЭМФ. В дальнейшем осуществлялись измерения АЧХ колебательных систем ЭМФ в полосе пропускания. На рис. 6 показаны АЧХ колебательных систем ЭМФ (в разных масштабах по вертикальной оси), представленные зависимостями относительного затухания $\Delta\alpha$ от частоты f , полученные при сварке импульсами с показателем степени $n=2$ (штриховая кривая) и $n=1,8$ (сплошная кривая). Заштрихованной областью на рис. 6, б представлена область недопустимых значений при соблюдении 1/20 норм Международного консультативного Комитета по телефонии и телеграфии (МККТТ). Режим с показателем степени $n=1,8$ был установлен опытным путем и позволил получить наилучшие результаты. Так, при $n=2$ после

сварки 20 колебательных систем ЭМФ лишь четыре удовлетворяли 1/20 норм МККТТ, остальные требовали последующей настройки, что значительно увеличивает трудоемкость изготовления и приводит к технологическим потерям. При $n=1,8$ после сварки такого же количества колебательных систем 12 из них удовлетворяли требованиям 1/20 норм МККТТ.

Разработанный источник питания для контактной микросварки позволяет программировать необходимую форму сварочного импульса за счет применения формирователя эталонного сигнала на базе микроконтроллера. Задание требуемого закона изменения сварочного импульса осуществляется в соответствии с предложенным алгоритмом, а выбор необходимой формы осуществляется простой сменой программного обеспечения.

Предложенный формирователь открывает широкие возможности при экспериментальных исследованиях в области контактной микросварки и позволяет осуществить подбор законов изменения импульса сварочного тока опытным путем исходя из материалов и конфигурации свариваемых деталей.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Технология и оборудование для точечной и рельефной конденсаторной сварки / Моравский В. Э., Ворона Д. С.— Киев: Наук. думка, 1985.
2. Кочергин К. А. Контактная сварка. — Л.: Машиностроение, 1987.
3. Леонов В. П., Атауш В. Е. Малоинерционный источник питания для микросварки и пайки с обратной связью по электроэнергетическим параметрам // В кн.: Припой для пайки современных материалов.— Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1985.— С. 133—139.
4. Леонов В. П., Атауш В. Е., Греченкова А. А., Барабанщикова Л. А. Источник сварочного тока с программируемыми электрическими параметрами и формой импульса // Сварочное производство.— 1987.— № 1.— С. 27—28.
5. Паэранд Ю. Э., Бондаренко А. Ф. Особенности формирования импульсов тока для сварки малогабаритных деталей // Технічна електродинаміка.— 2005.— Тем. випуск. Ч. 3.— С. 28—31.
6. Атауш В. Е. Управляемые источники питания для контактной микросварки // Сварочное производство.— 1995.— № 6.— С. 29—30.
7. Автоматизация сварочных процессов / Под ред. В. К. Лебедева, В. П. Черныша.— К.: Вища шк., 1986.
8. А. с. 1214368 СССР. Устройство для управления процессом контактной точечной сварки / В. П. Леонов, В. Е. Атауш, Э. В. Бумбиерис, М. А. Калейс.— 1986.— Бюл. № 8.
9. Сташин В. В., Урусов А. В., Мологонцева О. Ф. Проектирование цифровых устройств на однокристалльных микроконтроллерах.— М.: Энергоатомиздат, 1990.
10. Паэранд Ю. Э., Кацман Ю. К. Влияние производственных погрешностей на коэффициент связи между резонаторами канального электромеханического фильтра // Электронная техника. Сер. Радиодетали и радиокомпоненты.— 1990.— № 2.— С. 47—50.