



СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РАЗВЕРТКОЙ ПУЧКА ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ

Ю. Н. ЛАНКИН, А. А. БОНДАРЕВ, доктора техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
Е. И. ДОВГОДЬКО, В. А. ДЬЯЧЕНКО, инженеры (НП «СОЛО», г. Киев)

Описана микропроцессорная система управления разверткой электронного пучка при электронно-лучевой сварке и компьютерная программа графического проектирования разверток. Система позволяет реализовать развертки с произвольным результируемым распределением плотности мощности электронного пучка в зоне сварки. Во время проектирования развертки задается траектория, мгновенная мощность электронного пучка в каждой точке и отображается результирующее распределение плотности мощности пучка. Программа изменения токов отклоняющих катушек вычисляется автоматически.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, развертка электронного пучка, микропроцессорный контроллер, графическое компьютерное проектирование развертки

Свойства электронного пучка (малая инерционность и широкий диапазон регулирования мощности) позволяют получать источники сварочного нагрева с произвольным поверхностным распределением плотности мощности в области сварки. Электронный пучок может обеспечить почти неограниченное разнообразие режимов сварки, термической и размерной обработки, зондирования сварочного стыка. При этом зондирование, сварка и термообработка могут проводиться одним и тем же пучком одновременно. Однако реализовать эти преимущества электронного луча в полной мере можно только средствами электронной автоматики. Разработано сравнительно много аналого-дискретных электронных устройств периодического электромагнитного отклонения электронных пучков для сварки [1, 2] и термообработки [3, 4]. Их недостатками являются низкая точность, сложность настройки, ограниченные функциональные возможности. Зачастую электронно-лучевые установки комплектуются простейшими приборными синусно-косинусными генераторами.

Технически более совершенны цифровые системы периодического отклонения электронного пучка. Формирование периодических напряжений специальной формы в таких системах можно выполнять программно или аппаратно. Каждая управляющая ЭВМ, которыми, как правило, комплектуются современные установки для электронно-лучевой сварки (ЭЛС), позволяет запрограммировать практически любой закон изменения во времени сигнала отклонения электронного пучка. Однако частота такого сигнала ограничена десятками герц и при этом ЭВМ целиком загружена выполнением только этих функций.

Гораздо проще эти задачи решаются аппаратными средствами. Необходимая программа одного периода отклонения электронного пучка записывается в постоянное запоминающее устройство (ПЗУ). Управляемый по частоте генератор кодов последовательно адресует ячейки ПЗУ и записанный в них код тока электромагнитного отклонения электронного пучка преобразуется цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП) в пропорциональное аналоговое напряжение [5, 6]. Основным недостатком этих генераторов является неудобство программирования ПЗУ. Для перепрограммирования ПЗУ необходимо извлечь микросхему ПЗУ из панельки, поместить в программатор и записать в нее новую программу, предварительно подготовленную на компьютере. Это занимает много времени и на практике очень неудобно.

Всех этих недостатков лишены современные микроконтроллерные системы программного управления отклонением электронного пучка со специализированным программным обеспечением компьютерного проектирования разверток.

Структурная схема микроконтроллерного генератора разверток приведена на рис. 1. Управляющая часть системы выполнена на микроконтроллере C8051F022 фирмы «Cugnal». Связь с компьютером осуществляется по стандартному последовательному интерфейсу RS-232. По этому интерфейсу в микроконтроллер из компьютера загружаются до 32 программ, после чего он может работать автономно. При постоянной связи с компьютером количество программ практически не ограничено. Запись программы в контроллер занимает единицы миллисекунд и может осуществляться даже во время сварки.

С помощью ЦАП, входящих в состав микроконтроллера, цифровой код развертки преобразуется в аналоговые напряжения, которые поступают на мощный преобразователь напряжение —

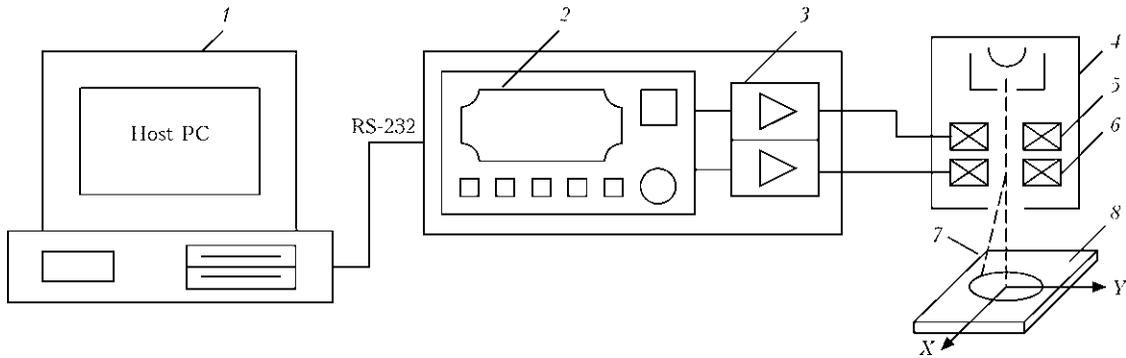


Рис. 1. Структурная схема контроллера развертки электронного пучка для сварки: 1 — компьютер; 2 — контроллер; 3 — усилитель мощности; 4 — электронно-лучевая пушка; 5 — катушка отклонения электронного пучка по оси X; 6 — катушка отклонения электронного пучка по оси Y; 7 — электронный пучок; 8 — свариваемое изделие

ток 3 (рис. 1). Контроллер имеет собственные органы управления для корректировки амплитуды развертки отдельно по координатам X и Y, по обеим координатам одновременно XY, частоты развертки F, выбора любой из записанных в память контроллера разверток P. Вся текущая служебная информация, а именно, номер развертки, относительная амплитуда развертки по каждой координате и частота развертки отображаются на многострочном жидкокристаллическом дисплее. Общий вид контроллера приведен на рис. 2.

Программа «Проектирование развертки» представляет собой средство для быстрого графического проектирования траектории перемещения электронного пучка по поверхности нагрева вследствие периодического электромагнитного отклонения при ЭЛС и термообработки электронным лучом. Для периодического отклонения электронного пучка обычно задается закон изменения во времени тока в отклоняющих катушках системы электромагнитного отклонения электронно-лучевой пушки. Связать траекторию электронного пучка с током отклоняющей катушки не представляет особого труда только в простейших случаях круговой и линейной разверток. Данная система позволяет проектировать не только траекторию перемещения электронного пучка, но и интенсивность нагрева в любом месте траектории. Кроме того, во время проектирования имеется возможность просмотра результирующего распределения плотности мощности электронного пучка в области нагрева с учетом конечных значений радиуса электронного пучка. Экран компьютерного проектирования развертки приведен на рис. 3.

Траектория электронного пучка отображается в прямоугольном окне «Траектория электронного луча» (рис. 3) с относительными размерами +/-128 по координатам X и Y. Во время одного цикла периодической развертки электронный пучок занимает последовательно 16 положений в области его воздействия. Положение остановки пучка в каждой из 16 точек траектории отображается в виде окружности небольшого диаметра. Переме-

щение пучка из одной точки в другую отображается соединительными прямыми линиями. Положение каждой точки пучка в цикле развертки задается перетаскиванием мышкой ее изображения в любое место окна «Траектория электронного луча». Цифровое значение координат каждой точки отображается в соответствующей ячейке таблицы, представленной на рис. 3. Таким образом, траектория электронного пучка в общем случае может быть любой.

Интенсивность теплового воздействия электронного пучка в каждой точке определяется относительным временем пребывания в ней, т. е. на какую часть периода развертки пучок останавливается в данной точке. Изменение относительной длительности пребывания электронного пучка в точке эквивалентно относительному изменению тока луча в данной точке при одинаковом времени его пребывания в каждой точке. Естественно, для этого частота развертки электронного пучка должна быть достаточно высока. Время пребывания пучка в каждой точке задается с некоторой дискретой Δt . Общее количество временных интервалов N в течение одного периода T развертки устанавливается программой от 16 до 256. Период развертки может варьироваться от $16\Delta t$ до $256\Delta t$. Минимальное значение Δt определяется только схемотехникой и элементной базой приме-



Рис. 2. Внешний вид контроллера развертки электронного пучка для сварки



няемого контроллера развертки. Например, для описываемого контроллера, выполненного на микроконтроллере C8051F022 фирмы «Signal», минимальное значение Δt составляет 40 мкс и может быть увеличено с дискретой 40 мкс до 4 мс.

Помимо минимального значения Δt , определяемого контроллером, реальная максимальная частота развертки зависит от индуктивности отклоняющих катушек, напряжения питания усилителя тока отклоняющих катушек и установленной амплитуды развертки. Чем меньше индуктивность катушек отклонения, выше напряжение питания и меньше амплитуда развертки, тем больше максимально возможная частота развертки.

Относительная плотность тока пучка регулируется изменением амплитуды соответствующего столбца столбчатого графика перетаскиванием вершины столбца мышью. Относительная плотность тока (количество временных интервалов) в остальных позициях электронного пучка автоматически пересчитывается, чтобы период развертки остался неизменным. Количество временных интервалов в каждой позиции электронного пучка (относительная плотность тока) отображается столбиком столбчатого графика и в соответствующей ячейке J таблицы на рис. 3.

Благодаря тепловой инерционности поверхности нагрева тепловое воздействие периодически отклоняемого электронного пучка эквивалентно

воздействию суммы 16 неподвижных электронных пучков, распределенных по поверхности нагрева. Сумма токов эквивалентных неподвижных лучей равна току периодически отклоняемого электронного луча, а ток каждого луча пропорционален относительному времени пребывания луча в соответствующей точке останова. Таким образом, по тепловому действию периодически отклоненный электронный луч можно представить неподвижным электронным лучом со сложным поперечным распределением плотности тока.

Анализ графиков распределения плотности тока такого луча дает гораздо больше для прогнозирования теплового воздействия электронного луча, чем анализ кривых токов отклоняющих катушек, что обычно имеет место на практике. Результирующее эквивалентное распределение плотности тока, отображаемое на трехмерном графике в окне «Результирующее распределение тока луча», подсчитывается следующим образом.

Плотность мощности электронного пучка $j(x, y)$ в первом приближении можно считать нормально-круговым:

$$j(x, y) = J_m \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{r_{\text{л}}^2}\right), \quad (1)$$

где J_m — амплитуда плотности тока; $r_{\text{л}}$ — дисперсия плотности тока; x, y — расстояние от центра луча до данной точки.

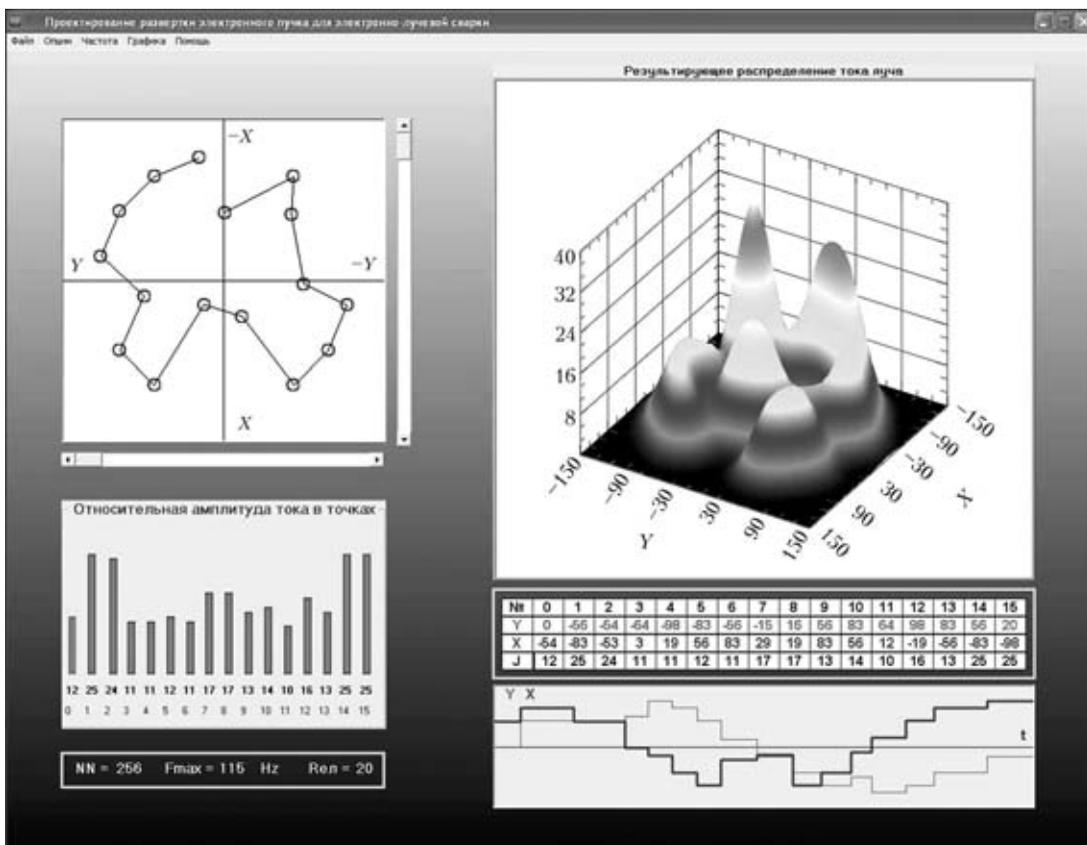


Рис. 3. Экран компьютерного проектирования развертки

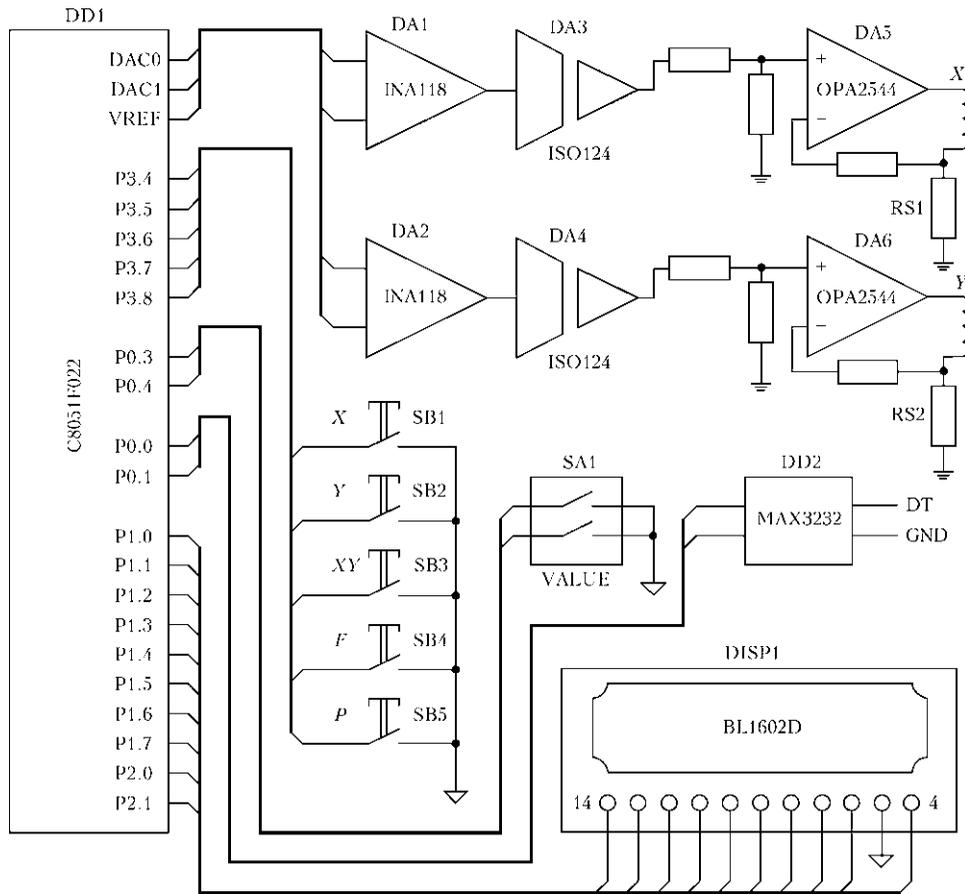


Рис. 4. Функциональная схема контроллера развертки электронного пучка для сварки

Результирующая плотность тока от действия 16 одновременно действующих электронных лучей с амплитудами J_{mi} в точках x, y будет

$$\bar{j}(x, y) = \sum_{i=1}^{16} J_{mi} \exp\left(-\frac{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}{r_{\pi}^2}\right), \quad (2)$$

где J_{mi} — амплитуда плотности тока в i -й точке останова пучка, $J_{mi} = J_i/N$; J_i — количество интервалов времени Δt пребывания пучка в i -й точке останова луча; N — общее количество временных интервалов в периоде развертки; x_i, y_i — координаты i -й точки останова луча.

Реальная результирующая плотность тока развернутого пучка зависит от радиуса пучка в плоскости сварки. Для получения более реалистичного изображения результирующего распределения плотности тока пучка в зоне его воздействия, подсчитываемого по уравнению (2), в окне «Beam Radius» из меню «Опции» задается относительное значение радиуса электронного луча r_{π} .

Для удобства анализа результирующего распределения его изображение можно поворачивать, изменяя угол места и азимут.

Запись в файл спроектированной развертки осуществляется командой Safe из меню «Файл». Запись спроектированной развертки в контроллер

осуществляется командой Sent to Controller из меню «Файл».

Запись в файл и ППЗУ контроллера отклонения луча спроектированной развертки осуществляется командой «Запись».

Функциональная схема микропроцессорного контроллера приведена на рис. 4. Аналоговые напряжения развертки с выходов ЦАП DAC0, DAC1 микроконтроллера DD1 поступают на входы согласующих инструментальных усилителей DA1 и DA2. Изолирующие усилители DA3 и DA4 осуществляют гальваническую развязку управляющей и силовой части контроллера. Мощные операционные усилители DA5 и DA6, включенные по схеме с глубокой отрицательной обратной связью по выходному току, осуществляют преобразование напряжений разверток в ток отклоняющих катушек. Кнопками SB1–SB5 осуществляется выбор изменяемого параметра. Импульсный датчик вращения с индикацией направления SA1 используется для изменения значения выбранного параметра. Амплитуду и частоту развертки можно регулировать от 100 % до 0 через 1 %.

Микросхема DD2 осуществляет преобразование уровней напряжений последовательного интерфейса RS232 связи контроллера с компьютером.

**Выводы**

1. Микропроцессорный генератор разверток электронного пучка в автономном режиме работы позволяет воспроизводить до 32 записанных в память разверток любой сложности.

2. При связи с компьютером по последовательному интерфейсу количество воспроизводимых разверток практически не ограничено. Замену воспроизводимой развертки на любую другую из компьютера можно осуществлять в процессе сварки, не прерывая процесс.

3. При проектировании развертки задается желаемое распределение плотности тока пучка в области нагрева и траектория перемещения этого пучка. По ним автоматически вычисляются программы изменения токов в отклоняющих катушках.

4. Выбор траектории перемещения электронного пучка позволяет влиять не только на результирующее распределение плотности мощности

луча, но и на гидродинамические процессы в сварочной ванне, особенно при низкой частоте сканирования.

1. Информационное письмо / АН УССР. Ин-т электросварки им. Е. О. Патона. — Киев, 1984. — № 13: Прибор СУ-177 для управления лучом сварочных пушек / Ю. Г. Куцан, В. В. Гумовский, С. Я. Макарихин и др. — [3] с.
2. Информационное письмо / АН УССР. Ин-т электросварки им. Е. О. Патона. — Киев, 1987. — № 39: Куцан Ю. Г., Гумовский В. В. Прибор СУ-229 для управления лучом. — [4] с.
3. Чубаров В. П. Контроль и регулирование подвижным воздействием. — М.: Энергия, 1976. — 196 с.
4. Электронно-лучевой отжиг сварных соединений / Г. А. Ильченко, Ю. В. Полоскин, В. И. Андреев, А. А. Бондаков // Материалы VII Всесоюз. конф. по электронно-лучевой сварке. — М., 1983. — С. 54–58.
5. Электронно-лучевая сварка / О. К. Назаренко, А. А. Кайдалов, С. Н. Ковбасенко и др. / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: Наук. думка, 1987. — 256 с.
6. Ланкин Ю. Н., Байштрук Е. Н. Генераторы разверток электронного пучка для сварки и термообработки // Автоматическое управление процессами сварки и нанесения покрытий: Сб. науч. тр. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1988. — С. 106–110.

The microprocessor-based control system for scanning of the electron beam in electron beam welding, and software for graphic representation of the scans are described. The system makes it possible to realise the scans with an arbitrary resultant distribution of power density of the electron beam in the welding zone. Development of a scan comprises setting of a path and instantaneous power of the electron beam at each point, and representation of resultant distribution of the beam power density. The program of variations in deflecting coil currents is calculated automatically.

Поступила в редакцию 04.03.2009

ПРЕССОВАЯ СВАРКА С НАГРЕВОМ ДУГОЙ, УПРАВЛЯЕМОЙ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Разработаны современные высокопроизводительные технологии и оборудование прессовой сварки с нагревом дугой, управляемой магнитным полем.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ:

- ✓ производство деталей автомобильной промышленности (амортизаторы, карданные валы, пневматические пружины, рулевые тяги);
- ✓ сварка труб диаметром 20...219 мм с толщиной стенки 1.5...12 мм;
- ✓ сварка деталей различного назначения, в том числе со сплошным поперечным сечением.

ПРЕИМУЩЕСТВА:

- ✓ процесс сварки происходит в автоматизированном режиме;
- ✓ высокая эффективность процесса сварки благодаря применению системы автоматического поддержания величины дугового зазора;
- ✓ высокое и стабильное качество сварных соединений;
- ✓ высокая производительность процесса сварки;
- ✓ отсутствие вспомогательных сварочных материалов;
- ✓ контроль параметров процесса в реальном времени.



Карданный вал (время сварки 2,9с)