



## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СВАРКИ ТИГ СТАЛЕЙ МАЛОЙ ТОЛЩИНЫ

Д. Д. КУНКИН, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведен вариант реализации режима сварки пульсирующей дугой на малоамперном источнике сварочного тока с регулированием широтно-импульсной модуляцией и экспериментальной системой управления с применением микропроцессорной техники.

*Ключевые слова:* сварка ТИГ, пульсирующая дуга, микропроцессор, регулирование широтно-импульсной модуляцией, тонколистовой металл

Сварка ТИГ сталей толщиной до 0,5 мм широко применяется в приборостроении (сборка корпусов и экранов), в меньшем объеме — в автомобилестроении при проведении ремонтно-восстановительных работ. Возможны и другие узкоспециализированные сферы ее применения, где использование стандартных сварочных инверторов является нецелесообразным.

В настоящей работе решалась задача построения системы управления для сварки тонколистового металла с наименьшими материальными и временными затратами. Для уменьшения тепловложения в металл и вероятности прожогов используют сварку постоянным током с низко- и среднечастотной модуляцией (сварку пульсирующей дугой). Регулировка длительности тока в импульсе и паузе, а также частоты повторения импульсов осуществляется с помощью микроконтроллера ATmega8515 (фирмы «Atmel»). При сварке модулированным током путем изменения, как минимум, четырех регулируемых параметров (длительность импульса, частота его повторения, амплитуда тока в импульсе и уровня базового тока) можно установить оптимальный режим сварки. На экспериментальном образце удобно применять единый программируемый модуль обработки команд сварщика и управления регулируемыми параметрами с индикацией установленных значений, что позволяет адаптировать систему управления в соответствии с различными требованиями и задачами [1, 2].

В качестве объекта управления использовали малоамперный источник сварочного тока, разработанный подразделением ИЭС им. Е. О. Патона — Государственным научно-инженерным центром сварки и контроля в области атомной энергетики Украины. Этот источник тока является составной частью тренажера для сварщика (рис. 1) и представляет собой широтно-импульсный пре-

образователь понижающего типа с системой управления.

Стабилизация сварочного тока по сигналам обратной связи, получаемым от датчика тока  $I$ , осуществляется по закону широтно-импульсной модуляции, реализуемой микросхемой TL 494 1. Для согласования выходного сигнала микросхемы 1 и силового транзистора используют микросхему-драйвер IR 2110 2. Сигнал обратной связи по току от датчика сравнивается с уровнем опорного напряжения, в результате получают сигнал ошибки, который сопоставляют с пилообразным сигналом. В результате формируются импульсы управления силовым транзистором с частотой, которая определяется параметрами внешней задающей цепи генератора пилообразного напряжения (ГПН), в нашем случае она равна 20 кГц. Длительность открытого состояния транзистора прямо пропорциональна разнице между сигналом ошибки и опорным напряжением. Благодаря запасенной энергии дросселя  $L1$  импульсы тока преобразуются в непрерывный ток, среднее значение которого поддерживается на постоянном уровне с определенной точностью.

Режим сварки пульсирующей дугой реализовали следующим образом. Микроконтроллер обеспечивает генерирование сигнала, временная диаграмма которого представлена на рис. 2. В программе предусмотрена регулировка оператором длительности цикла импульса и паузы непосредственно в ходе работы устройства с дискретностью 50 мкс. Сварщик с помощью клавиш «больше»/«меньше» (или цифровых потенциометров) устанавливает значение коэффициентов, соответствующее длительности  $T_{и}$  и паузы  $T_{п}$  (от 0 до 255), которое умножается на 50 мкс. Частоту следования выходных импульсов можно определить по формуле

$$f_{\text{вых}} = 1 / (T_{и} T + T_{п} T + dt) \text{ [Гц]},$$

где  $dt$  — длительность «мертвого времени» (продолжительность выключенного состояния управ-

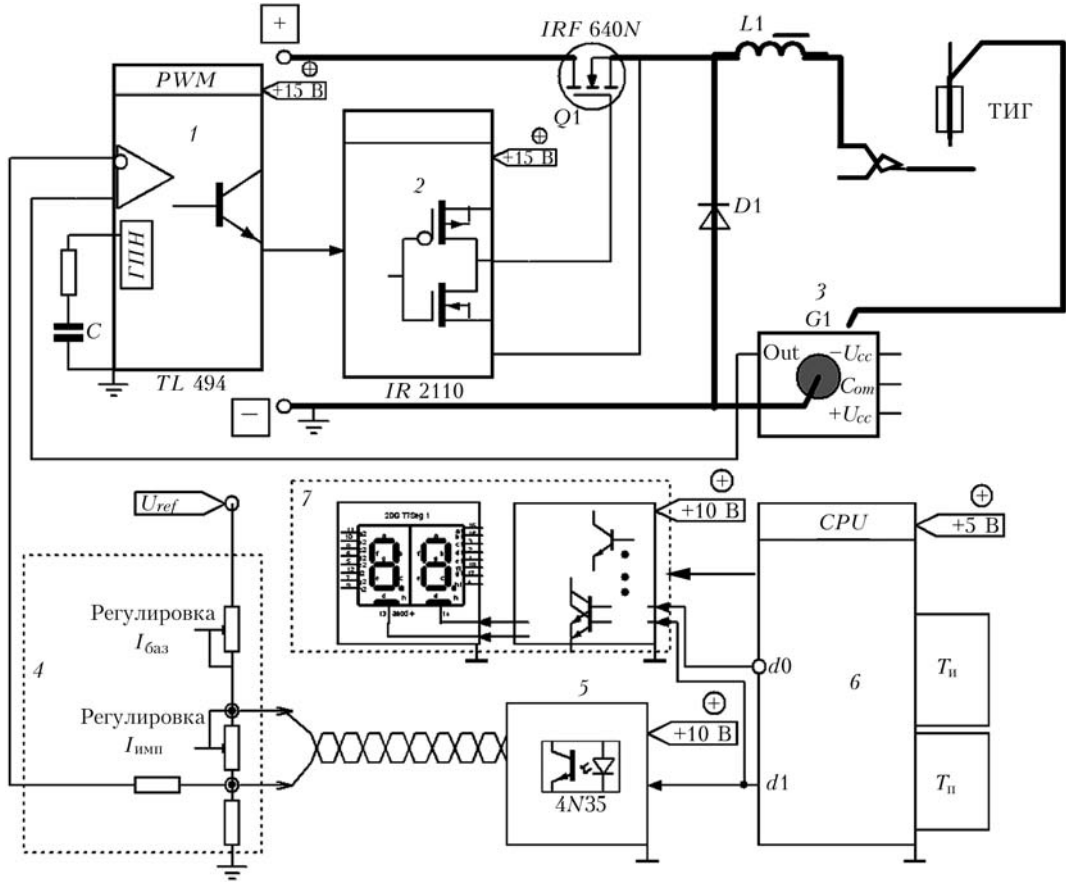


Рис. 1. Структурная схема устройства для сварки пульсирующей дугой

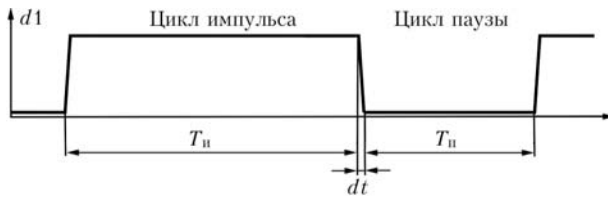


Рис. 2. Управляющий сигнал микроконтроллера

ляющего транзистора перед каждым новым циклом), равная 10 мкс;  $T$  — программная единица времени, равная 50 мкс.

Импульсный сигнал заданной частоты поступает от микроконтроллера 6 на оптронный ключ 5. Ключ шунтирует резистор аттенюатора 4 опорного напряжения, сравниваемый уровень опорного напряжения резко возрастает, в результате чего длительность открытого состояния силового транзистора увеличивается и значение сварочного тока приближается к максимальному. Соотношение между максимальным и минимальным значением тока может изменяться оператором. Частота скачкообразного изменения опорного сигнала определяется частотой генерирования импульсов микроконтроллером и выбирается оператором как комбинация длительности импульса и паузы. Ее выбранные значения отображаются на семисегментном индикаторе блока динамической индикации 7.

Максимальная частота выходного сигнала, являющаяся частотой модуляции, составляет  $f_{\text{ВЫХ}} = 1 \cdot 10^6 / (1 \cdot 50 + 1 \cdot 50 + 10) = 9,1$  кГц. Следует отметить, что такое значение  $f_{\text{ВЫХ}}$  сварочного тока способствует повышению устойчивости горения дуги, но не влияет на ее энергетические показатели вследствие инерционности тепловых процессов. Минимальное значение частоты выходного сигнала составляет 39,2 Гц.

В ходе проведения экспериментов была достигнута приемлемая устойчивость горения дуги без прожогов при следующих параметрах процесса: сталь — оцинкованный лист СТ0 толщиной 0,55 мм; длительность импульса и паузы 4,9 мс ( $T_{\text{п}} = T_{\text{и}} = 98$ ), что соответствует частоте следования импульсов  $f_{\text{ВЫХ}} = 100$  Гц при скважности 50 %. Диапазон скачкообразного изменения опорного напряжения составляет 50 % базового значения. Таким образом, для максимального (10 А) тока размах его пульсаций равен приблизительно 5 А. При этом значения напряжения на дуговом промежутке изменяются от 16 до 20 В. Осциллограмма модулированного сварочного тока представлена на рис. 3.

Исходя из результатов проведенной работы можно сделать следующие выводы.

Описанный способ построения системы управления для сварки тонколистового металла пульсирующей дугой является экономичным и в то

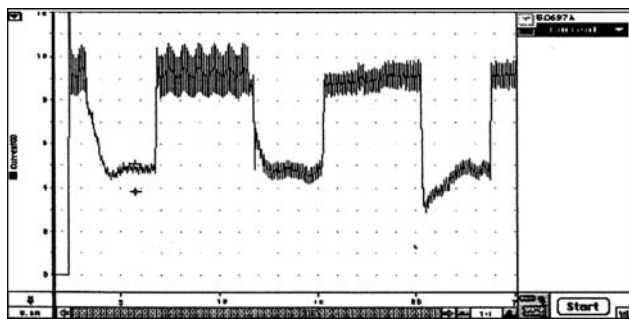


Рис. 3. Модулированный ток для сварки пульсирующей дугой (масштаб 2 А — 5 мс)

же время достаточно гибким решением для различных сфер применения. Недостатком такого способа достижения пульсаций сварочного тока является периодическое изменение коэффициента усиления усилителя сигнала ошибки, в результате чего точность стабилизации тока в импульсе хуже, чем в паузе. Регулировка уровня тока импульса и паузы не происходит независимо, она осуществляется одновременно, что заставляет оператора выполнять настройку необходимых значений тока продолжительное время. К преимуществам можно отнести удобство цифрового независимого регу-

лирования длительности импульса паузы. В случае потребности в значительном изменении частотного диапазона сварочного тока (в сторону понижения частоты) нет необходимости в замене дискретных элементов системы управления. Диапазон регулирования длительности импульса и паузы изменяется в зависимости от программной единицы времени.

В будущем из массива данных, полученных при проведении экспериментов по сварке металлов различной толщины, целесообразно выделить оптимальные диапазоны регулирования основных параметров сварочного тока для достижения установленного минимального влияния температуры, глубины проплавления и устойчивости процесса сварки. Приведенная схема управления с некоторыми доработками может быть использована для аналогичного источника сварочного тока мощностью 4 кВт.

1. Баранов В. Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы. — М.: Издат. дом «Додека-XXI», 2004. — 288 с.
2. Трапезт В. Измерение, управление и регулирование с помощью AVR микроконтроллеров. — Киев: МК-Пресс, 2007. — 208 с.

The paper presents a variant of pulsed-arc welding using a low-amperage welding current source with PWM-regulation and an experimental control system with application of microprocessor devices.

Поступила в редакцию 02.07.2008

## НКМЗ ОТПРАВЛЯЕТ КОМБАЙНЫ ДЛЯ ШАХТЕРОВ РОССИИ

*Новоκραматорский машиностроительный завод (г.Краматорск, Донецкой обл.) приступил к отгрузке двух проходческих комбайнов П110-01 крупнейшей в России шахте «Распадская» (Кузбасский угольный бассейн).*

*Комбайны специального исполнения созданы для прохождения выработок с минимальной присечкой пород кровли. Это снижает зольность добытого угля, расход резцов, увеличивает производительность и темпы проходки.*

*Еще три комбайна П110-01, предназначенные для шахт Кузбасса, будут отгружены потребителям летом.*