

С. В. БОЛОТОВ, канд. техн. наук, доц.

Н. А. ТОЛПЫГО

Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

КОНТРОЛЬ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ СВАРКЕ

Аннотация

Представлено обоснование выбора датчиков тока и напряжения компенсационного типа для исследования процессов переноса электродного металла при дуговой сварке. Приведена структурная схема измерительного устройства, представлены примеры реализованных регистраторов сварочных процессов

Ключевые слова: сварочный ток, напряжение на дуге, датчики, контроль, регистратор, автоматизированная система

Основными параметрами режима при дуговой сварке являются сварочный ток и напряжение на дуге [1]. В инструкциях на технологический процесс сварки указывают средние значения тока и напряжения при сварке на постоянном токе и действующие (среднеквадратичные) значения при сварке на переменном токе. Данные величины контролируются при помощи измерительных приборов, встраиваемых в сварочное оборудование. Максимальное значение тока при дуговой сварке, как правило, не превышает 500 А, при напряжении на дуге до 40 В [2].

Дуговая сварка осуществляется плавлением сварочной проволоки или электрода за счёт энергии источника питания. Процесс переноса электродного металла в сварочную ванну имеет следующие стадии (рис. 1): 1 – зажигание дуги, 2 – формирование капли электродного металла, 3 – короткое замыкание капли в сварочную ванну. При зажигании дуги резко возрастает мгновенное значение напряжения u , и энергии дуги p . В процессе формирования капли расплавленного металла напряжение u , ток i и мощность p стабилизируются. Переход капли расплавленного металла в сварочную ванну сопровождается коротким замыканием дугового промежутка, при этом напряжение u стремится к нулю, сварочный ток i начинает резко возрастать, мощность p также увеличивается. Частота переноса электродного металла может составлять от десятков до 200...300 Гц [3].

Установлено, что частота опроса датчиков при дуговой сварке с короткими замыканиями дугового промежутка должна составлять не менее 20 кГц [4]. На основе мгновенных значений тока и напряжения возможно определить значение вводимой энергии на каждой стадии процесса переноса электродного металла (рис.1, параметр Energy_Cons между двумя курсорами a и b), что позволяет производить оценку стабильности процесса переноса электродного металла по коэффициенту вариации энергии дуги [5].

Для регистрации мгновенных значений сварочного тока и напряжения на дуге при исследовании процессов переноса электродного металла важное значение имеет правильный выбор датчиков тока и напряжения. Измерение тока и напряжения осуществляют с помощью шунтов на постоянном и переменном токе или трансформаторов тока и индукционных датчиков на переменном токе. Наибольшее распространение для измерения тока и напряжения получили датчики тока и напряжения, работающие на эффекте Холла. Такие датчики обладают высокой надёжностью, обеспечивают гальваническую развязку между измерительной и сварочной цепью, позволяют производить измерения на постоянном и переменном токе. Датчики разделяют на датчики прямого усиления и компенсационные датчики [6]. В датчике прямого усиления магнитное поле, создаваемое первичным током, концентрируется в магнитной цепи и преобразуется в воздушном зазоре с помощью элемента Холла. Сигнал с элемента Холла подвергается усилению для получения на выходе величины, пропорциональной измеряемому току. Достоинства датчика прямого усиления: небольшой размер, расширенный диапазон преобразования, низкое энергопотребление. В компенсационном датчике магнитное поле, создаваемое первичным током, компенсируется таким же полем, создаваемым током во вторичной обмотке.

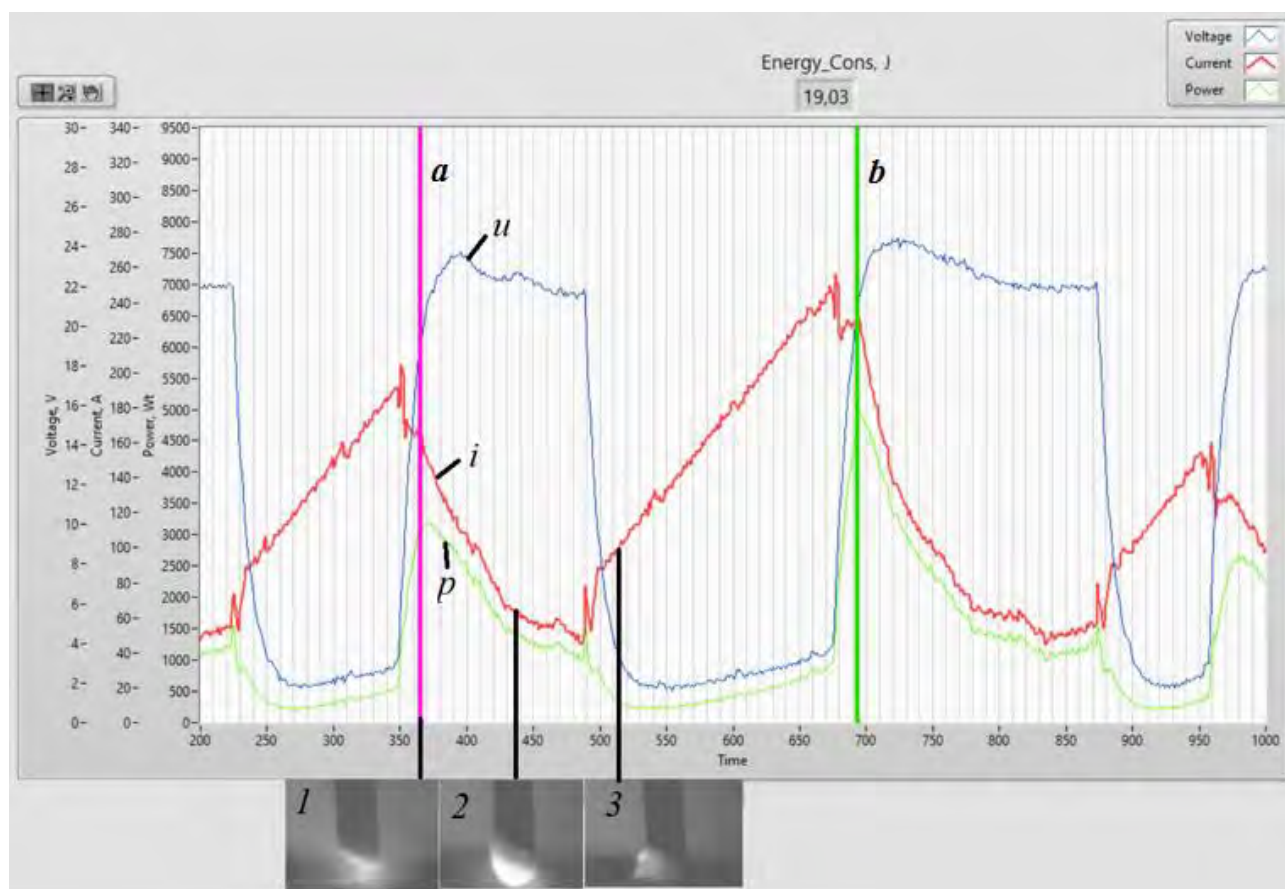


Рис. 1. Осциллограммы параметров режима дуговой сварке с короткими замыканиями дугового промежутка

Вторичный (компенсирующий) ток генерируется с помощью элемента Холла и электроники датчика. Этот ток является пропорциональной копией первичного тока. Достоинства датчика компенсационного типа: широкий частотный диапазон, высокая точность, малое время задержки сигнала, низкий температурный дрейф, высокая линейность [6]. Выбор датчиков сварочного тока и напряжения на дуге осуществляли по следующим критериям: измерение постоянного, переменного и импульсного тока и напряжения, диапазон измерения сварочного тока - от 0 до не менее 500 А, диапазон измерения напряжения на дуге - от 0 до 40 В (напряжение холостого хода до 100 В), погрешность измерения тока и напряжения - до 1,5%, частота опроса датчиков - не менее 20 кГц, диапазон рабочих температур – от -40 до +50 °С. Данным критериям удовлетворяют компенсационные датчики на эффекте Холла компании LEM (Швейцария), 3E Sensor (Китай), ООО «ИДМ-ПЛЮС» (Россия) [6-8] (табл. 1).

Табл. 1. Основные параметры компенсационных датчиков тока и напряжения

№ п/п	Маркировка (производитель)	Номинальный входной ток (напряжение) / диапазон	Выходной ток	Напряжение питания	Частотный диапазон	Погрешность	Рабочая температура
1	LT1000-S/SP99 (LEM)	1000 А / ±1500 А	200 мА	±15...24 В	0...100 кГц	±0,3%	- 50...+85 °С
2	LF 505-S (LEM)	500 А / ±800 А	100 мА	±15...24 В	0...100 кГц	±0,6%	- 40...+70 °С
3	SC135R-500 (3E Sensor)	500 А / ±1000 А	100 мА	±12...24 В	0...100 кГц	±0,5%	- 50...+85 °С
4	ДТК-700С (ИДМ-ПЛЮС)	700 А / ±700 А	140 мА	±15 В	0...100 кГц	±0,5%	- 40...+70 °С
5	LV-100 / SP83 (LEM)	10 мА / 100...2500 В	50 мА	±15 В	0...25 кГц	±0,7%	- 25...+70 °С
6	LV-25-P (LEM)	10 мА / 10...500 В	25 мА	±12...15 В	0...25 кГц	±0,8%	- 50...+85 °С
7	SV025-20 (3E Sensor)	20 мА / 10...1500 В	25 мА	±12...15 В	0...25 кГц	±0,8%	- 50...+85 °С
8	ДНК-С (ИДМ-ПЛЮС)	10 мА / ±600 В	25 мА	±15 В	0...25 кГц	±1,5%	- 60...+85 °С

В регистраторе РКДП-0401, входящем в состав информационно-измерительного комплекса для исследования процессов плавления и переноса электродного металла при дуговой сварке, использованы датчики LT100-S/SP99 и LV-100/SP83 компании LEM [9]. В регистраторе РСП-БРУ-01, входящем в состав автоматизированной системы регистрации сварочных процессов, использованы датчики LF 505-S и LV-25-P компании LEM [10,11]. В системе мониторинга сварочного оборудования СМСО-БРУ-01 и в мобильном регистраторе сварочных процессов использованы датчики ДТК-700С и ДНК-С российской компании ИДМ-ПЛЮС [12].

Компенсационные датчики питаются от двухполярного источника напряжения, что позволяет измерять параметры сигналов не зависимо от из знака. Универсальным при этом является напряжение питания ±15 В. Выход

всех датчиков токовый, что позволяет использовать их на значительном расстоянии от регистратора. Структурная схема измерения представлена на рис. 2.

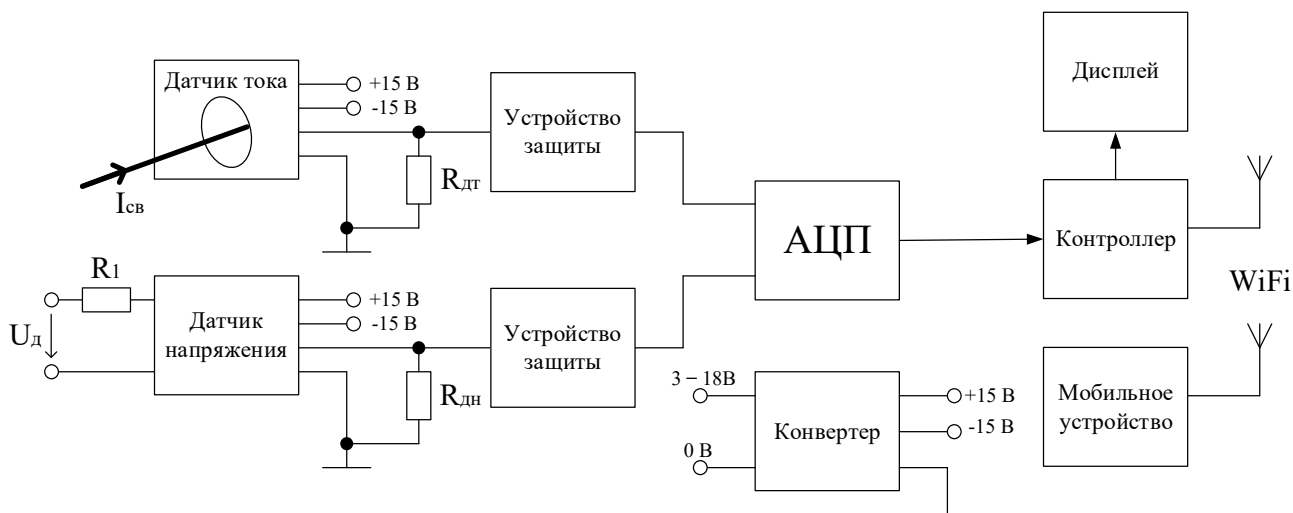


Рис. 2. Структурная схема измерения

Выходные токовые сигналы датчика тока и датчика напряжения с помощью резисторов $R_{от}$ и $R_{он}$ преобразуются в пропорциональные им напряжения с уровнем, не превышающим +2,5 В, поступают на входы усилителей, работающих в режиме повторителей с защитой от перенапряжения и на входы аналого-цифрового преобразователя (АЦП). В качестве АЦП должны использоваться преобразователи с частотой дискретизации не менее 20 кГц и разрядностью от 14 бит. Для измерения напряжения на дуге на вход датчика последовательно включают сопротивление R_1 , номинал которого рассчитывается из условия обеспечения номинального входного тока (табл. 1). Контроллер на основе чипа STM32 принимает сигналы с АЦП по интерфейсу I²C и отображает на дисплее графики сварочного тока, напряжения на дуге, мощности (рис.1), а также усреднённые цифровые значения тока и напряжения с частотой 10 Гц. Имеется возможность передачи измеренных значений на мобильное устройство по WiFi каналу (рис.2). Конвертер представляет из себя импульсный преобразователь с гальванически развязанным выходным питанием. Конвертер питает датчик напряжения и датчик тока двухполярным напряжением ± 15 В.

Результаты калибровки опытных образцов РСП-БРУ-01 и СМСО-БРУ-01 показали, что относительная погрешность измерения тока не превышает 1,3%, а напряжения – 1,5%. Регистраторы хорошо зарекомендовали себя при дуговой сварке как в цеховых условиях, так и на монтаже трубопроводов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов, В. П. Технология сварки плавлением и термической резки : учебник / В. П. Куликов. – 2 изд. , стер. – Минск : Новое знание, 2018. – 416 с.

2. Милютин, В. С. Источники питания и оборудование для электрической сварки плавлением : учебник / В. С. Милютин, Р. Ф. Катаев. – 2-е изд. , стер. – М. : Академия, 2013. – 368с.
3. Сараев, Ю. Н. Исследование стабильности плавления и переноса электродного металла в процессе дуговой сварки плавящимся электродом от источников питания с различными динамическими характеристиками / Ю. Н. Сараев, Д. А. Чинахов, Д. П. Ильященко, А. С. Киселёв, А. С. Гордынец // Сварочное производство. – 2016. – № 12. – С.7-16.
4. Bolotov, S. V. Investigation of the Criteria for Evaluating Electrode Metal Transfer in Short Circuit Gas-Shielded Arc Welding [Electronic resource] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 2021. – №1118. – P.0120003. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1118/1/012003/pdf>.
5. Bolotov, S. V. Intelligent welding control system / S. V. Bolotov, K. V. Zakharchenkov., E. Makarov, V. Furmanov // CEUR Workshop Proceedings, 2021, 2965. – P.260–267.
6. LEM / [Электронный ресурс] Датчики тока и напряжения для промышленности. Режим доступа: <https://sul.su/wnG9>.
7. Лаборатория датчиков тока и напряжения / [Электронный ресурс] Каталог. Режим доступа: <https://ldtn.ru/catalog>.
8. ИДМ-ПЛЮС / [Электронный ресурс] Особенности и технические характеристики датчиков тока и напряжения компании «ИДМ-ПЛЮС». Режим доступа: URL: [https://isup.ru/upload/pdf-zhurnala/2022/3/03\(99\)%202022016019IDM%20PLUS.pdf](https://isup.ru/upload/pdf-zhurnala/2022/3/03(99)%202022016019IDM%20PLUS.pdf).
9. Болотов, С. В. Информационно-измерительный комплекс для исследования процессов плавления и переноса электродного металла при дуговой сварке / С.В. Болотов, А.В. Хомченко, А.В. Шульга, Е.Л. Болотова // Вестник Брянского государственного технического университета / 2020. – Т. 2020, № 6 (91). – С.4-11.
10. Болотов, С. В. Автоматизированная система контроля качества дуговой сварки / С. В. Болотов, К. В. Захарченков, В. П. Куликов // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2023, № 3 (80). – С.144–152.
11. Болотов, С. В. Регистратор параметров сварочных процессов РСП-БРУ-01 / С. В. Болотов // Сборник трудов XVI Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения». – Томск: ТПУ, 2021. – С.197-198.
12. Бобков, Н. К. Разработка регистратора системы мониторинга сварочного оборудования СМО-БРУ-01 / Н. К. Бобков, Н. А. Толпыго // 59-я студенческая научно-техн. конф. Белорусско-Российского университета: материалы конф. / – Могилев: Белорус. –Рос. ун-т, 2023. – С.34-36.

Контакты:

s.v.bolotov@mail.ru (Болотов Сергей Владимирович)
sector576@mail.ru (Толпыго Никита Андреевич)