

Особенности проектирования источников питания сварочной дуги

с микропроцессорным управлением

Известно, что нагрузочную характеристику источника питания можно изменить программным воздействием системы управления на его силовые элементы. Показаны преимущества формирования нагрузочной характеристики источника питания (ИП) для дуговой сварки с использованием в его составе специализированного микропроцессора с фаззи-управлением.

Павел Сергеев

sergeyev792@yandex.ru

Введение

Источник питания (ИП) для дуговой электросварки металлов должен иметь специфическую, круто падающую нагрузочную характеристику, для того чтобы обеспечить поджог дуги, ее поддержание и разрыв.

В источниках питания для дуговой электросварки широко используется промежуточное преобразование переменного тока повышенной частоты, что обеспечивает, в первую очередь, уменьшение массогабаритных параметров.

К современному ИП для электродуговой сварки предъявляются следующие требования:

- Сварочные аппараты должны быть по возможности и оборудованы устройством для регулирования величины сварочного тока, максимальное значение которого ограничивается, в частности, диаметром электрода и толщиной свариваемых деталей.
- Ток короткого замыкания, возникающий в момент касания электродом изделия и при переносе расплавленного металла на изделие, не должен превышать заданной величины, безопасной для перегрева полупроводниковых приборов, входящих в состав аппарата, и пережога обмоток, но быть достаточным для быстрого разогрева конца электрода, ионизации дугового промежутка и возникновения дуги.
- Напряжение холостого хода должно обеспечивать быстрый поджог дуги, но не создавать при этом опасности поражения сварщика электрическим током.
- ИП с высокочастотным преобразованием должен соответствовать требованиям электромагнитной совместимости, обозначенным в отечественных стандартах.

В настоящее время мировые лидеры по производству сварочного оборудования переводят номенклатуру производимого оборудования на элементную базу с микропроцессорным управлением.

Контроль процесса сварки и регулирование режимов осуществляются с панели управления. Например, серия установок для ручной сварки ESAB предполагает наличие выносного блока управления Aristo Pendant U8, позволяющего программировать сварочные процессы и хранить до 256 индивидуальных программ.

Инверторы для сварки плавящимся электродом выпускает ряд фирм (во многих таких изделиях реализованы решения на принципах синергетики): ESAB — Caddy Arc, Fronius — Trans Puls Synergic, KEMPPi — PRO и др.

Фаззи-контроллер (Fuzzy-Logic Controller, FLC) — это контроллер на нечеткой логике, реализующий управление. То есть это включенная в процесс управления и работающая в реальном времени экспертная система, которая применяет фаззи-логику для преобразования качественных логических переменных.

Описание структурной схемы

На рис. 1 показана полная структурная схема источника питания для сварочной дуги с микропроцессорным управлением режимами работы.

В составе устройства: 1 — источник электропитания; 2 — фильтр, обеспечивающий электромагнитную совместимость разрабатываемого устройства с иными устройствами, включенными в эту же сеть; 3 — однофазный либо трехфазный выпрямитель сетевого напряжения; 4 — схема плавного заряда конденсаторов низкочастотного фильтра; 5 — низкочастотный фильтр; 6 — полупроводниковый инвертор повышенной частоты; 7 — датчик тока; 8 — высокочастотный силовой трансформатор; 9 — силовоточный выпрямитель; 10 — накопительный элемент; 11 — свариваемая деталь; 12 — устройство обратной связи по напряжению; 13 — дополнительный источник питания; 14 — устрой-

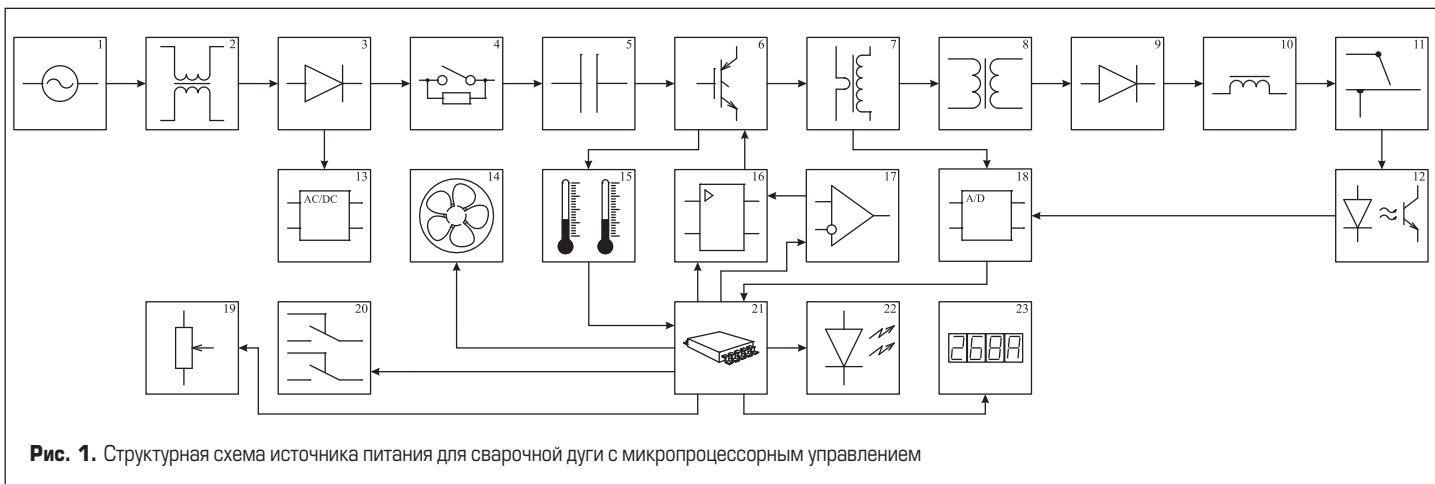


Рис. 1. Структурная схема источника питания для сварочной дуги с микропроцессорным управлением

ство принудительного охлаждения полупроводниковых элементов; 15 — датчики температуры; 16 — драйвер управления силовыми ключами (при необходимости — с гальванической развязкой через трансформатор); 17 — ШИМ-контроллер; 18 — АЦП; 19 — регулятор тока; 20 — переключатели выбора режимов работы; 21 — микропроцессор; 22 — устройство световой индикации; 23 — устройство цифровой индикации.

В зависимости от условий эксплуатации и требуемой мощности устройства, источником электропитания (1) для него является однофазная промышленная сеть 220 В×50 Гц либо трехфазная сеть 3×380 В×50 Гц.

Инверторные источники питания для электродуговой сварки обеспечивают:

- Пониженное напряжение холостого хода.
- Систему «горячего старта», обеспечивающую легкое возбуждение сварочной дуги.
- Устройство «антистик», защищающее электрод от залипания.
- Возможность регулировки «форсирования» сварочной дуги, определяющей поведение сварочного тока в момент уменьшения и замыкания дугового промежутка. Уменьшение «форсирования» снижает разбрызгивание металла, а увеличение — уменьшает вероятность залипания электрода, увеличивает проплавление и давление дуги.
- Возможность выбора наклона ВАХ позволяет управлять переносом металла в зависимости от конкретных условий сварки и типа электрода.
- Автоматическое отключение при перегреве, пониженном напряжении и отсутствии одной из фаз питающего напряжения.

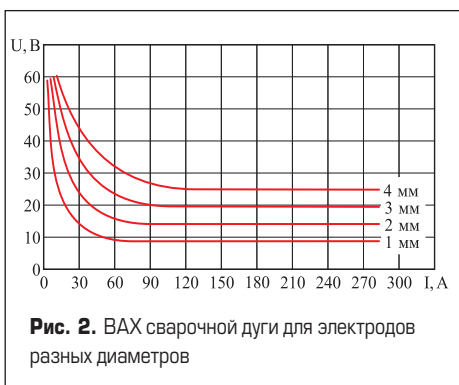


Рис. 2. ВАХ сварочной дуги для электродов разных диаметров

- Сварочный ток поддерживается вне зависимости от колебаний напряжения сети; эффективное управление током.
- Высокое выходное напряжение позволяет вести сварку при значительной суммарной длине кабелей.
- Цифровую индикацию параметров тока сварки и степени «форсирования» дуги (в относительных единицах).

Схема управления

Для управления источником питания необходимо сформировать замкнутый цикл работы с использованием обратных связей, главным образом с целью обеспечения требуемых значений выходного напряжения и тока (рис. 2), а также реализации его защитных и сервисных функций.

Обратная связь по току осуществляется с помощью датчика тока, включенного в цепь первичной обмотки силового трансформатора либо в цепь его вторичной обмотки. Обратная связь по напряжению реализуется через оптопару с нормированным коэффициентом передачи. Таким образом, программное обеспечение основано на анализе текущих величин тока и напряжения и приведении их в соответствие с требуемыми величинами на разных этапах процесса электросварки. Данное ПО формирует оптимальную форму нагрузочной характеристики источника питания.

Из рис. 2 следует, что после поджога дуги необходимо экспоненциально понижать выходное напряжение ИП до определенной величины (задается отдельно для электродов различного диаметра), чтобы величина тока изменялась линейно.

Программное обеспечение

Поддержание дуги осуществляется в режиме стабилизации напряжения. Величина выходного напряжения ИП должна оставаться постоянной при незначительных изменениях длины сварочной дуги, возникающих при перемещении электрода.

Разрыв дуги сопровождается резким уменьшением сварочного тока в силу того, что при отрыве электрода резко увеличивается длина дуги. При понижении тока до определенной

величины можно стимулировать скорость разрыва, дополнительно понижая выходное напряжение.

Следует отметить, что в последнее время все большую популярность приобретает управление с применением методов нечеткой логики. Используя данный метод, можно отказаться от применения ШИМ (17, рис. 1) и осуществлять управление непосредственно от фазы-контроллера (21, рис. 1), оснатив его специальной программой, которая, посредством управления силовыми ключами, будет формировать значения выходного тока и напряжения ИП (6–10, рис. 1).

Сервисные функции

Наличие сервисных функций упрощает процесс выполнения сварки, улучшает ее качество, позволяет обезопасить сварочные работы, но при этом усложняет контроль и регулировку режимов работы устройства.

Краткое описание содержания сервисных функций:

- **Функция Arc Force** реализует кратковременное увеличение сварочного тока при уменьшении дугового промежутка до минимума, что позволяет быстро расплавить металл электрода и изделия, при увеличении дугового промежутка не допустить залипания электрода и, соответственно, стабилизировать процесс сварки. При помощи регулятора можно менять динамику поведения дуги: от «мягкой дуги», обеспечивающей малое разбрызгивание при мелкокапельном переносе, до «жесткой дуги», обеспечивающей глубокое проплавление при сварке.
- **Функция Hot Start** реализует кратковременное превышение сварочного тока над установившимся значением в момент зажигания дуги. При помощи регулятора можно увеличить величину тока в импульсе от номинального значения до более высокого (как правило, увеличение составляет 130%).
- **Функция Anti Stick** реализует долговременное уменьшение тока короткого замыкания ИП при прилипанию электрода к свариваемому изделию. Падение тока происходит через 1–2 секунды после прилипания. Это позволяет легко оторвать электрод от свариваемого изделия и избежать теплового

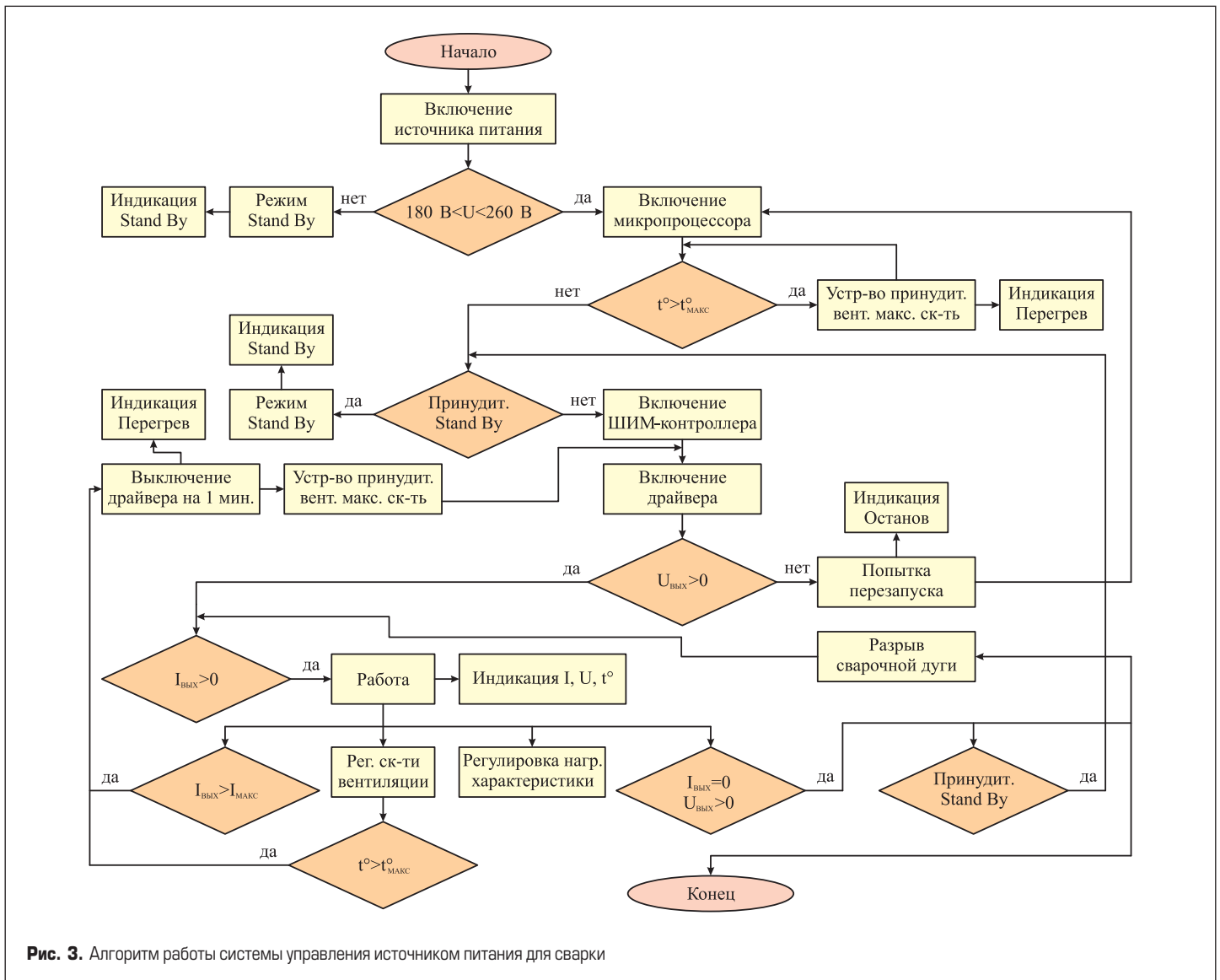


Рис. 3. Алгоритм работы системы управления источником питания для сварки

пробоя силовых ключей, диодного моста, перегрева электрода и сварочных кабелей.

- **Функция защиты от перегрузки по току** реализуется отключением драйвера управления силовыми ключами (16, рис. 1) в случае, если мгновенное либо усредненное за определенный промежуток времени значение тока первичной обмотки превысит установленную величину.
- **Функция изменения интенсивности охлаждения** реализуется регулировкой скорости вращения устройства принудительной вентиляции (14, рис. 1), что необходимо для уменьшения температуры силовых полупроводниковых приборов, а также сердечника силового трансформатора. Блок определения температуры (15, рис. 1) предполагает наличие дополнительного датчика температуры, расположенного в пределах корпуса, но минуемого потоком воздуха, создаваемым искусственно. Его наличие позволяет контролировать температуру окружающей среды. Данная функция предполагает возможность кратковременного отключения драйвера управления силовыми ключами (16, рис. 1) в случае, если максимальная скорость вращения вентилятора принудительного охлаждения

(14, рис. 1) не обеспечивает требуемую температуру охлаждаемых элементов.

- **Функция защиты от повышенного или пониженного напряжения электрической сети** реализует отключение схемы управления ИП, если величина его сетевого напряжения выходит за пределы, установленные стандартами. Функция реализуется при переводе дополнительного источника питания (15, рис. 1) в режим ожидания (Stand By).
- **Функция Stand By** реализует ручное отключение драйвера управления силовыми ключами, но не обесточивает устройство целиком. Наличие данной функции обусловлено возникновением тех или иных технологических перерывов, в течение которых сварщик не желает выключать аппарат, настроенный для выполнения однотипных работ.
- **Функция понижения выходного напряжения** реализует понижение выходного напряжения ИП до величины, безопасной для жизни человека, при длительном простое. В момент касания электродом поверхности свариваемой детали осуществляется мгновенное (несколько мс) повышение напряжения до максимального значения и обрабатывается основной алгоритм сварки.

- **Устройство цифровой индикации** (23, рис. 1) реализует световую либо цифровую индикацию режимов работы источника питания, величин выходного тока и напряжения, температуры, фиксируемых датчиками, а также предупреждает сварщика об аварийной ситуации.

Принцип работы

Алгоритм работы системы управления источником питания представлен на рис. 3.

После включения источника питания определяется величина сетевого напряжения. Если она выходит за установленные пределы, дополнительный источник питания вводится в режим Stand By и не выполняет включения схемы управления до тех пор, пока сетевое напряжение не вернется в указанный интервал значений. Если сетевое напряжение допустимое, включается дополнительный источник питания, который, в свою очередь, включает микропроцессор.

Микропроцессор выполняет проверку температуры на датчиках: при выявлении перегрева включается вентилятор на максимальную скорость, пока температура охлаждаемых элементов не достигнет необходимого значения.

После этого микропроцессор включает ШИМ-контроллер и драйвер (они также могут выключаться принудительно функцией Stand By).

После включения ШИМ-контроллера и драйвера производится запуск силового каскада и выполняется проверка выходного напряжения с целью определения работоспособности силового каскада, импульсного трансформатора, элементов выходной цепи. Если напряжение отсутствует, источник питания перезапускается.

После удачного запуска микропроцессор ожидает изменения величины выходного тока, которое определяется датчиком тока, с целью формирования требуемой нагрузочной характеристики. При успешной проверке величины тока и напряжения на выходе источника питания выполняется расчет режима работы источника питания при соответствующем режиме сварки.

Расчет выполняется с целью формирования управляющего воздействия на силовые элементы ИП, при котором формируется необходимая форма нагрузочной характеристики. При этом используется фаззи-управление, когда управляющее воздействие микропроцессором формируется методами нечеткой логики [2].

Источник питания сварочной дуги может содержать в себе систему цифровой индикации: величины сварочного тока и напряжения, величину входного напряжения, температуру элементов силового каскада.

При превышении установленного значения выходного тока либо перегреве одного или нескольких элементов схемы предусмотрена защита от перегрузки. При этом выполняется выключение драйвера управления силовыми ключами и на некоторое время включается вентилятор на максимальную скорость.

Разрыв дуги контролируется путем снижения сварочного тока, величина которого также детектируется датчиком тока.

Заключение

Проблемы управления силовым оборудованием и, в частности, источниками питания больших мощностей связаны с необходимостью учета режимов работы как отдельных узлов, так и устройства в целом. Большое количество факторов управления (выходной ток и напряжение) требует оценки точности алгоритма в совокупности с параметрами устройства, такими как мощность силового каскада, электромагнитная сила силового трансформатора, устойчивость к перегрузкам и др.

Неточности в проектировании алгоритма управления и формировании формы нагрузочной характеристики могут привести как к малозаметному ухудшению качества работы устройства (частое залипание электрода, «неуверенное» поддержание дуги), так и к грубому нарушению работы (ложное или несвоевременное срабатывание сервисных функций),

что может повлечь за собой выход из строя источника питания.

Фаззи-контроллеры, предназначенные для регулирования температуры, а также других параметров сварочных процессов, могут использоваться как простые ПИД-регуляторы, так и выполнять более сложные функции. Функция Fuzzy Logic представляет собой алгоритм многопараметрической логики, который позволяет исключать большинство ошибок перерегулирования.

Литература

1. Сергеев Б. С. Схемотехника функциональных узлов источников вторичного электропитания. М.: Радио и связь, 1992.
2. Батыршин И. З., Недосекин А. А., Стецко А. А., Тарасов В. Б., Язенин А. В., Ярушкина Н. Г. Теория и практика нечетких гибридных систем / Под ред. Н. Г. Ярушкиной. М.: Физматлит, 2006.
3. Коротынский А. Е. Состояние, тенденции и перспективы развития высокочастотных сварочных преобразователей (обзор) // Автоматическая сварка. 2001. № 7.
4. www.freepatentsonline.com/5614116.pdf
5. www.waset.org/journals/waset/v8/v8-19.pdf
6. www.simtech.a-star.edu.sg/Research/TechnicalReports/TR0690.pdf
7. www.murexwelding.co.uk/esabmanuals/InstructionManuals/AristoPendantU82.pdf