



## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОДНОКНОПОЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СВАРОЧНОГО ПОЛУАВТОМАТА

**В. А. ЛЕБЕДЕВ**, канд. техн. наук, **И. С. КУЗЬМИН**, **В. Г. НОВГОРОДСКИЙ**, **В. А. ТКАЧЕНКО**, инженеры  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрен один из способов построения регуляторов режимов работы дугового механизированного оборудования с обратной связью по напряжению дуги. Показано, как с минимальными техническими и аппаратными издержками можно модернизировать сварочные полуавтоматы, эксплуатируемые длительное время. При этом достигается улучшение условий труда сварщика, повышение качества сварного соединения.

*Ключевые слова:* механизированная сварка, режимы, управление, регулирование, устойчивость, электропривод, ток, напряжение

Совершенствование оборудования для дуговой механизированной сварки осуществляется несколькими путями. Прежде всего за счет внедрения технологии сварки с использованием, например, нестационарных процессов [1], а также разработки оборудования, позволяющего облегчить сварщику задачу выбора оптимальных режимов сварки [2]. Имеется и обобщенный подход к совершенствованию дугового механизированного оборудования — организация синергетического управления сварочным процессом, реализуемым полуавтоматами [3].

Как показывает опыт, все это применимо в основном для новых образцов техники — полуавтоматов с современными конструкциями источников сварочного тока, систем управления и регулирования.

Вместе с тем на предприятиях Украины и в ближнем зарубежье имеется достаточно большой парк сварочного оборудования с источниками сварочного тока, которые могут находиться в эксплуатации еще длительное время (полуавтоматы типа А547Ум, А825 с источниками ВС300 (ВС300Б) и др.). При ремонте, замене вышедших из строя узлов и элементов возможно их некоторое усовершенствование (как механических элементов системы подачи [4], так и систем регулирования).

Цель настоящей работы — разработка технических решений для систем регулирования сварочных полуавтоматов, которые могут существенно повысить эффективность их работы, упростить выбор режимов и поддерживать в оптимальном соотношении, облегчая работу сварщика и повышая качество сварного шва.

Одним из способов, упрощающих установку режимов работы сварочного оборудования в оптимальной области, является способ однокнопочного управления (координирования), который может быть реализован несколькими основными способами:

координированием сварочного тока и напряжения в результате воздействия на источник сварочного тока [5];

координированием сварочного тока и напряжения посредством воздействия на электропривод механизма подачи электродной проволоки [6].

Первый способ требует наличия источника питания с плавным регулированием напряжения холостого хода. При втором — источник сварочного тока может быть любой конструкции, но механизм подачи электродной проволоки должен быть оснащен электродвигателем постоянного тока. Следовательно, второй способ решения предпочтителен для такого многообразия и количества полуавтоматов, уже имеющихся в распоряжении пользователей, поскольку может быть реализован с источником сварочного тока любой конструкции.

При этом следует каким-либо способом задать необходимый для сварочного процесса уровень напряжения сварки  $U_{св}$ , а система регулирования должна установить требуемый (оптимальный) для этого напряжения сварочный ток  $I_{св}$ . Такая операция обычно выполняется за счет обратной связи по напряжению, воздействующей на регулируемый электропривод механизма подачи и реализующей зависимость  $I_{св} = f(U_{св})$ . В наиболее простом случае, необходимом для качественного процесса сварки, указанная зависимость носит линейный характер. Также учитывается, что сварочный ток и скорость подачи электродной проволоки  $v_{п}$  связаны линейной зависимостью. Два указанных условия могут служить в качестве принимаемых допущений при рассмотрении работы регулятора по принципу  $I_{св} = f(U_{св})$ . Подчеркнем, что рассматриваемое регулирование осуществляется за счет положительной обратной связи по напряжению сварки.

В работе [7] нами выполнен анализ системы регулирования, реализующей зависимость  $I_{св} = f(U_{св})$ . Определены условия устойчивой работы такой системы с минимизацией ошибок регулирования как по сигналу задания режима, так и по сигналу возмущения (изменение напряжения источника сварочного тока).

На основании произведенного анализа можно выполнить техническое построение системы регу-

лирования любой сложности и на любой элементной базе. Такая работа осуществлена в ИЭС им. Е. О. Патона. При этом учтено, что для сварки сплошными электродными проволоками в углекислом газе при различных прочих условиях зависимость  $I_{св} = f(U_{св})$  можно в определенном диапазоне режимов описать следующим линейным уравнением:

$$I_{св} = \frac{U_{св} - U_{св0}}{k_x},$$

где  $k_x$  — коэффициент наклона характеристики  $I_{св} = f(U_{св})$ ;  $U_{св0} = \text{const}$ .

Для исследованного диапазона режимов сварки определено, что  $U_{св0} = 15$  В и это является основанием для существенного упрощения схемы регулятора. Рассматриваемая зависимость представлена на рис. 1. Следует учесть, что наклон зависимости  $I_{св} = f(U_{св})$  определяется рядом факторов, в том числе диаметром электродной проволоки, видом защитного газа, используемого для свариваемого материала, пространственным положением шва и др.

Задача технической реализации регулятора в наиболее простом, повторяемом и ремонтпригодном в любых условиях виде может быть решена на основе общедоступной элементной базы. Именно такая оригинальная конструкция представлена на рис. 2.

Основу регулятора составляет регулируемый электропривод на тиристоре  $VD1$  [8] (на схеме обведен штриховой линией), питание которого осуществляется от двухполупериодного выпрямителя с нефилтрованным выходным напряжением. В электропривод введена отрицательная обратная связь по напряжению на якоре электродвигателя  $M1$ . Напряжение этой связи сравнивается с напряжением задания, установленным резистором  $R2$ . Разность указанных напряжений прикладывается к управляющему переходу базы — эмиттер транзистора  $VT1$ , усиливается им и управляет тиристором  $VD1$  таким образом, чтобы поддерживать частоту вращения вала электродвигателя (т. е. ЭДС) близкой к той, которая определена напряжением задания. Очевидно, что ток сварочного процесса в начальной рабочей точке задается (настраивается) упомянутым резистором. Напряжение отсечки (15 В) настраивается резистором  $R1$ . Отметим, что напряжение стабилизации стабилитрона  $D3$  выбрано на уровне 15 В. Наклон характеристики  $I_{св} = f(U_{св})$  настраивается резистором  $R3$ . Согласование относительно низкоуровневого напряжения задания с напряжением якоря электродвигателя осуществляется делителем, составленным из резисторов  $R8$  и  $R9$ . Этот делитель соединен с тиристором  $VD1$  перемычкой  $A$ . Когда тиристор открыт, перемычка  $A$  не выполняет никаких функций, а в периоды его закрытого состояния по перемычке  $A$  че-

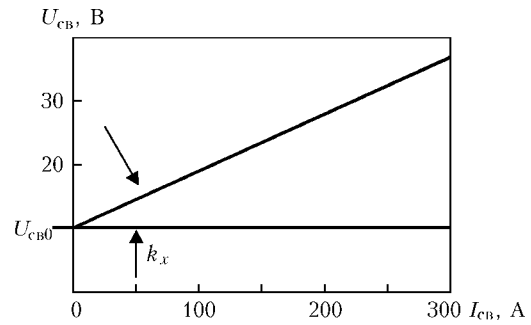


Рис. 1. Зависимость  $I_{св} = f(U_{св})$  при  $U_{св0} = 15$  В

рез делитель  $R8$  и  $R9$  отводится ЭДС электродвигателя в цепь обратной связи для сравнения с напряжением задания.

Диод  $D1$  дает возможность току открытого тиристора пройти непосредственно на якорь электродвигателя, минуя делитель  $R8$  и  $R9$ , т. е. не ослабляется последним.

Конденсатор  $C1$  вместе с резистором  $R4$  до некоторой степени устраняют недостатки, присущие выбранной простой тиристорной схеме электропривода (т. е. на малых частотах вращения вала электродвигателя исключают его толчковый режим работы, возможный как следствие режима работы тиристорного электропривода в зоне прерывистых токов).

Структура, состоящая из резисторов  $R5$ ,  $R6$ ,  $R7$  и конденсатора  $C3$ , соответствует структуре пассивного интегрирующего контура — фильтра, рассмотренного выше. Кроме того, этот фильтр дополнительно служит средством фильтрации всплесков напряжения, являющихся следствием работы источника сварочного тока и физических явлений при ведении дугового процесса.

Предложенный регулятор в полном схемном объеме испытывался с рядом моделей сварочных полуавтоматов, которые уже длительное время ра-

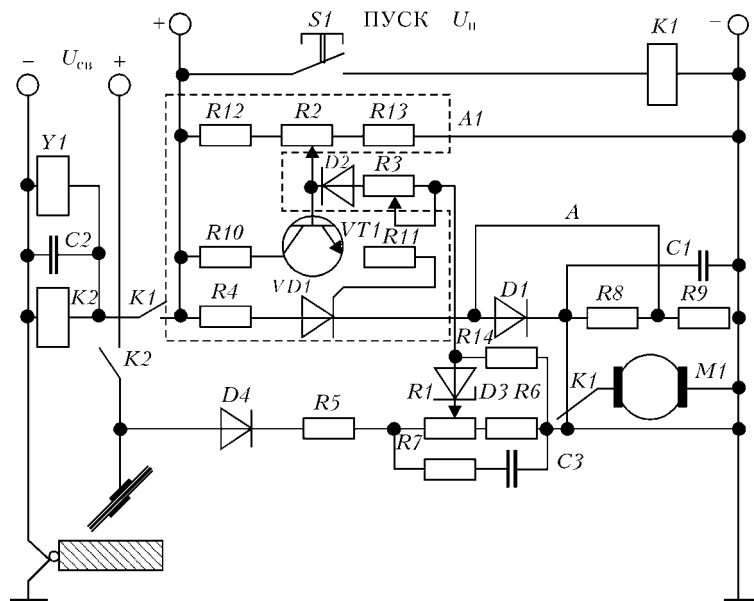


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема системы регулирования дугового процесса по принципу однокнопочного управления с использованием регулируемого тиристорного электропривода;  $K1$ ,  $K2$  — реле управления;  $Y1$  — газовый клапан; остальные обозначения, кроме указанных в тексте, — элементы согласований и развязок

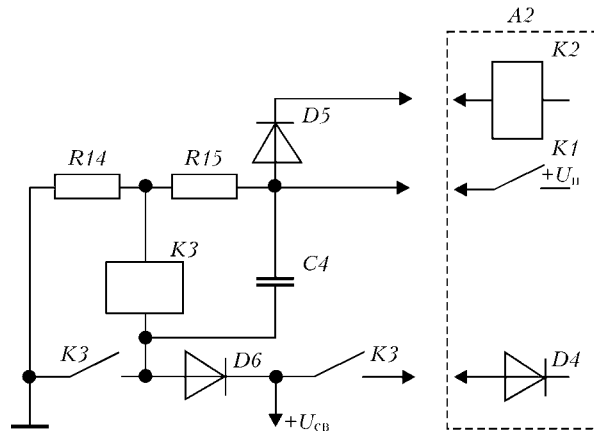


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема устройства, исключающего работу электропривода на повышенных скоростях подачи электродной проволоки; обозначения, не приведенные в тексте, — элементы согласований и развязок

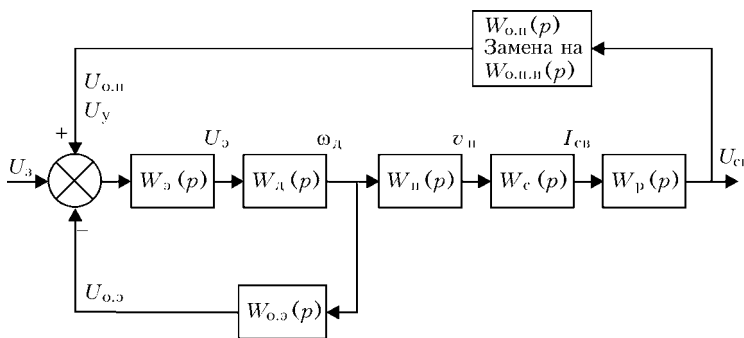


Рис. 4. Структурная схема регулятора дугового процесса при механизированной сварке плавящимся электродом:  $W_д(p)$  — передаточная функция электродвигателя постоянного тока;  $W_з(p)$  — передаточная функция регулятора частоты вращения вала электродвигателя (электропривод);  $W_о.н(p)$  — передаточная функция цепи обратной положительной связи по напряжению сварочного процесса;  $W_н(p)$  — передаточная функция механизма подачи электродной проволоки;  $W_с(p)$  — передаточная функция звена, определяющего зависимость  $I_{св} = f(v_n)$ ;  $W_о.с(p)$  — передаточная функция цепи отрицательной обратной связи, стабилизирующей частоту вращения вала приводного электродвигателя;  $W_р(p)$  — передаточная функция звена, определяющего зависимость  $I_{св} = f(U_{св})$ ;  $U_з$  — напряжение задания;  $U_{о.н}$  — напряжение обратной связи;  $U_у$  — напряжение управления;  $U_о.с$  — напряжение подачи электродной проволоки;  $W_{о.н.п}(p)$  — передаточная функция обратной связи измененная

ботали в разных условиях и при выполнении различных работ. Это полуавтоматы А547Ум, А825, А1230 с электродвигателями соответственно Д90, СЛ570С, КПА561. Применяли источники сварочного тока типов ВС300, ВС300Б, ВДГ303. Во всех случаях получены ожидаемые результаты, высоко оцененные сварщиками, пользовавшимися при изменении режима только установкой напряжения холостого хода источников сварочного тока. Диапазона регулирования частоты вращения вала приводного электродвигателя, создаваемого тиристорным электроприводом, входящим в состав регулятора режимов, вполне достаточно для обеспечения режимов сварки, указанных в паспортах на полуавтоматы и в ряде случаев даже превышающих их в 1,2...1,5 раза.

В несколько усеченном виде испытывали подобную систему регулирования, введенную в состав полуавтоматов, имеющих собственные регулируемые электроприводы. Полуавтоматы типов

ПДГ312, ПДГ516 укомплектованы источниками сварочного тока с плавным регулированием выходного напряжения. В этом случае решается задача стыковки регулируемых электроприводов полуавтоматов (электроприводы систем БУСП-2) с устройством выделения сигнала положительной обратной связи по напряжению сварки. Результаты такой модернизации полуавтоматов эффективны.

Можно также отметить, что схема полуавтомата в некоторых случаях имеет особенность, которую не все сварщики воспринимают положительно (рис. 2). Она состоит в том, что если процесс долго не устанавливается (торец электродной проволоки далек от места его касания или др.), то напряжение положительной обратной связи, пропорциональное напряжению холостого хода источника сварочного тока, позволяет электроприводу подавать электродную проволоку с несколько повышенной скоростью. Указанная проблема сопровождается любое техническое решение, связанное с подобной организацией обратных связей. Ее можно решать разными способами, в том числе путем применения датчиков сварочного тока.

Для этого случая с учетом принципа минимальных технических и аппаратных издержек предложено устройство (рис. 3), позволяющее достаточно просто устранить отмеченный недостаток. На рис. 3 также показан вариант подключения устройства к регулятору (рис. 2). Рассмотрим работу этого устройства. Здесь А2 обозначены элементы регулятора (рис. 2). Подключение цепи обратной связи по напряжению сварки к входу электропривода осуществляется контактом реле К3 (соединение с цепью диода D4) при срабатывании реле К3. При включении цикла работы полуавтомата через контакт реле К1 подается напряжение  $+U_{п}$  в цепь катушки реле К3. Последнее не срабатывает вследствие того, что подаваемое напряжение  $+U_{п}$  компенсируется напряжением  $+U_{св}$ , находящимся на катоде развязывающего диода D6.

При касании электродной проволокой изделия напряжение источника сварочного тока резко снижается, т. е.  $U_{св} \rightarrow 0$ , при этом разность потенциалов на обмотке реле К3 оказывается достаточной для его срабатывания. Срабатывая, реле К3 своими контактами берется на самоудержание и остается включенным на протяжении всего цикла сварки, обеспечивая работу цепи обратной связи по сварочному напряжению. Конденсатор С4 служит для гарантированного включения реле К3 при кратковременном периоде начального короткого замыкания сварочной цепи. Эффективность и надежность работы описанной схемы проверена в составе как регулятора режимов работы сварочного полуавтомата, так и различных устройств, контролирующих момент возбуждения сварочной дуги.

Выбор параметров схемы регулятора может быть осуществлен путем исследования передаточной

функции системы регулирования на устойчивость, точность с необходимыми корректирующими звеньями и пр., которая составляется в соответствии со структурной схемой, представленной на рис. 4.

Следует заметить, что именно при исследовании структуры регулятора определилась необходимость введения в схему регулятора пассивного интегрирующего фильтра с необходимыми параметрами.

Одной из основных задач, которая ставилась при разработке схемы регулятора, была задача обеспечения максимально возможной простоты и доступности при повторении. Эти же технические решения могут стать основой для разработок на других элементных базах для применения в серийном сварочном оборудовании.

Для новых разработок рекомендуем использовать в качестве регулятора, и устройства циклового управления одну из версий программируемого контроллера «ZELIO», относительно простого при программировании и доступного для обслуживания персоналу практически любых современных предприятий.

1. *Управление* процессом дуговой сварки путем программирования скорости подачи электродной проволоки // Б. Е. Патон, Н. М. Воропай, В. Н. Бучинский и др. // Автомат. сварка. — 1977. — № 1. — С. 1–5, 15.
2. *Подола Н. В., Руденко П. Н., Кобылин А. М.* Полуавтомат для дуговой механизированной сварки с однокнопочным управлением // Там же. — 1993. — № 11. — С. 42–44.
3. *Lucas Head W.* Synergic pulsed MIG welding-process, equipment and application // FWP J. — 1985. — 25, № 6. — P. 7–23.
4. *Лебедев В. А., Пичак В. Г.* Новый подход к конструированию механизма подачи электродных проволок // Автомат. сварка. — 2000. — № 4. — С. 35–38.
5. *Лебедев В. А.* Координированное управление режимами работы сварочного полуавтомата // Там же. — 1990. — № 12. — С. 56–56.
6. *Автоматическое* регулирование режима сварки порошковой проволокой / И. К. Походня, В. Н. Шлепаков, С. А. Супрун и др. // Там же. — 1975. — № 7. — С. 35–36.
7. *Лебедев В. А., Кузьмин И. С., Новгородский В. Г.* Регулирование дугового механизированного процесса сварки плавящимся электродом при оптимальном соотношении параметров режимов // Технология металлов. — 2002. — № 1. — С. 12–17.
8. *Лебедев В. А., Полосков С. И., Братчук С. Д.* Функциональные особенности электроприводов постоянного тока для сварочного оборудования // Свароч. пр-во. — 2002. — № 6. — С. 34–41.

One of the methods is considered of construction of controllers of the modes of operation of mechanized arc welding equipment with arc voltage feedback. It is shown that semi-automatic welding machines, operated for a long time, can be upgraded at minimum engineering and hardware costs. This allows improving the welder's labour conditions and welded joint quality.

Поступила в редакцию 23.07.2003,  
в окончательном варианте 30.10.2003

## ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОСВАРКИ им. Е. О. ПАТОНА НАН УКРАИНЫ

Объявляет ежегодный набор в

### ДОКТОРАНТУРУ по специальностям:

- сварка и родственные технологии
- автоматизация технологических процессов
- металловедение и термическая обработка металлов
- металлургия высокочистых металлов и специальных сплавов

### АСПИРАНТУРУ по специальностям:

- сварка и родственные технологии
- автоматизация технологических процессов
- металловедение и термическая обработка металлов
- металлургия высокочистых металлов и специальных сплавов

Прием в аспирантуру проводится в сентябре.

Контактный телефон: 220-84-11

Документы направлять по адресу: 03680, Украина, Киев-150, ГСП, ул. Боженко, 11  
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, ученому секретарю