

УДК 621.791.

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПЕРВОНАЧАЛЬНОГО И ПОВТОРНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ ДУГИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Н. М. МАХЛИН

ГП «НИЦ СКАЭ ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины». 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11.

E-mail: electro@paton.kiev.ua

Рассмотрены вопросы построения электронных устройств для бесконтактных первоначального и повторных возбуждений дуги переменного тока при механизированной дуговой сварке, генерирующих инжектируемые в межэлектродный промежуток импульсы высокого и повышенного напряжения, с учетом ранее проведенных исследований. Показано, что наиболее рациональным путем совершенствования электронных устройств для первоначального и повторных возбуждений дуги является создание комбинированных возбудителей-стабилизаторов, обладающих возможностью функционировать как в режиме первоначального возбуждения (зажигания) дуги, так и в режиме стабилизации процесса ее горения, что достижимо путем выполнения генераторов импульсов высокого или повышенного напряжения возбудителей-стабилизаторов, по крайней мере, с двумя независимыми формирующими контурами. Приведен и описан базовый вариант схемотехнических решений комбинированного электронного возбудителя-стабилизатора дуги с последовательным включением в сварочную цепь для механизированной сварки плавящимся электродом на переменном токе. Библиогр. 22, рис. 2.

*Ключевые слова:* механизированная дуговая сварка, переменный ток, первоначальное и повторные возбуждения дуги, устойчивость дуги, электронные возбудители-стабилизаторы дуги, генераторы импульсов высокого и повышенного напряжения

До настоящего времени самым распространенным методом бесконтактного первоначального возбуждения (зажигания) сварочной или вспомогательной дуги в межэлектродном промежутке остается его ударная ионизация путем электрического пробоя этого промежутка высоковольтными импульсами, вырабатываемыми специализированными генераторами (возбудителями дуги) [1–7].

Из известных способов повышения устойчивости сварочных дуг переменного тока наиболее широкое применение получили способы, основанные на использовании импульсов повышенного напряжения, генерируемых специальными вольтодобавочными устройствами (стабилизаторами дуги) и подаваемых в межэлектродный промежуток раз в период (в моменты начала формирования катода на изделии) или при каждой смене полярности сварочного тока, а также различные методы обеспечения высокой скорости изменения напряжения и тока дуги при переходах сварочного тока через нулевое значение [1–5, 7–12].

Хотя природа процессов первоначального и повторных возбуждений сварочной дуги различна [3–5, 7, 9, 10], структуры построения специализированных возбудителей и стабилизаторов дуги сходны между собой. Вместе с тем, в силу особенностей реализуемых этими устройствами процессов, они отличаются друг от друга не только амплитудными, энергетическими и временны-

ми параметрами выходных импульсов, но и алгоритмами и режимами работы узлов управления. В связи с этим построение возбудителей-стабилизаторов в течение длительного времени осуществлялось путем объединения в одном блоке, по сути, двух самостоятельных устройств, одно из которых функционирует в режиме первоначального возбуждения и управляется напряжением холостого хода сварочного источника питания переменного тока, а второе — в режиме обеспечения повторных возбуждений дуги при сварке с управлением напряжением дуги. Примерами подобного решения могут служить блоки возбуждения и стабилизации дуги установок УДГ-301 и УДГ-501 для ТИГ-сварки алюминия и его сплавов, установок УДГУ-301, УДГУ-302 и УДГУ-501 для ТИГ-сварки сталей и цветных металлов [5].

С учетом этого, усилия исследователей и разработчиков в течение продолжительного времени были направлены на создание комбинированных электронных возбудителей-стабилизаторов дуги, которые могли бы эффективно функционировать как в режиме первоначального возбуждения дуги, так и в режиме ее повторных возбуждений. К настоящему времени создан ряд таких устройств, описанных, например, в работах [5, 7, 13–15, 17–20], однако область их применения ограничивается такими способами дуговой сварки, как ручная и автоматическая сварка неплавящимся электродом в среде инертных газов (TIG и GTAW соот-

ветственно) и ручная дуговая сварка покрытыми электродами (ММА). Попытки же создания комбинированных электронных возбуждателей-стабилизаторов дуги для механизированной сварки на переменном токе плавящимся электродом в среде защитных газов (MIG/MAG) выявили ряд затруднений и ограничений по применению [9, 10, 21].

Поэтому задача создания эффективных возбуждателей-стабилизаторов дуги для MIG/MAG продолжает оставаться актуальной. Как показывает анализ схемотехнических и конструктивных особенностей известных комбинированных электронных возбуждателей-стабилизаторов дуги, решение этой задачи возможно при условии совершенствования как алгоритмов работы этих устройств и их узлов управления, так и функциональных узлов их силовой части и, прежде всего, генераторов импульсов высокого или повышенного напряжения (ГИН).

Цель настоящей работы состоит в рассмотрении разработанных в ИЭС им. Е. О. Патона некоторых предложений по созданию и совершенствованию функциональных узлов силовой части комбинированных возбуждателей – стабилизаторов дуги для MIG/MAG на переменном токе и представлении результатов исследовательских и экспериментальных работ в этом направлении.

**Основные особенности построения комбинированных возбуждателей-стабилизаторов для механизированной сварки.** Сопоставление требований к основным параметрам высоковольтных импульсов и стабилизирующих импульсов повышенного напряжения, выполненное с учетом приведенных в работах [13, 15, 16] расчетных соотношений и рекомендаций, а также результатов ранее проведенных исследований и опыта практического применения комбинированных электронных возбуждателей-стабилизаторов, показывает, что:

для осуществления надежного первоначального возбуждения дуги при MIG/MAG выходные высоковольтные импульсы возбуждателей должны иметь энергию  $W_{ив}$  от 0,20 до 0,50 Дж, амплитуду  $U_{м\ ив}$  от 3 до 7 кВ и длительность  $\tau_{ив}$  (на уровне  $0,05 U_{м\ ив}$ ) от 5 до 20 мкс;

для обеспечения устойчивости сварочной дуги переменного тока при MIG/MAG выходные импульсы повышенного напряжения стабилизаторов дуги должны иметь энергию  $W_{м\ ст}$  от 0,60 до 1,00 Дж, амплитуду  $U_{м\ ис}$  от 400 до 950 В и длительность  $\tau_{ис}$  (на уровне  $0,05 U_{м\ ис}$ ) от 100 до 1000 мкс;

поскольку значения  $W_{ист}$  практически всегда превышают значения  $W_{ив}$ , а значение энергии  $W_c$ , запасаемой в емкостном накопителе формирующего контура ГИН, определяется как  $W_c = C_k U_{c0}^2 / 2$ , где  $C_k$  — емкость конденсатора (конденсаторов) емкостного накопителя, а  $U_{c0}$  —

установившееся напряжение его заряда, то при одном и том же значении  $U_{c0}$  емкость  $C_{к2}$  контура ГИН, формирующего стабилизирующие импульсы, должна превышать не менее, чем в  $W_{ист}/W_{ив}$  раз, емкость  $C_{к1}$ , необходимую для формирования в контуре ГИН импульсов, обеспечивающих первоначальное возбуждение (зажигание) дуги;

при механизированных способах дуговой сварки плавящимся электродом и последовательном вводе вольтодобавочных импульсов в сварочную цепь с помощью импульсного трансформатора его коэффициент трансформации  $k_{тр} = N_{III}/N_I$ , где  $N_{III}$  — число витков вторичной обмотки импульсного трансформатора,  $N_I$  — число витков первичной обмотки этого трансформатора, как для режима первоначального возбуждения, так и для режима генерации стабилизирующих импульсов должен быть равен единице;

наибольшее значение амплитуды тока  $I_{Cm}$  в формирующем контуре ГИН, определяемое по формуле  $I_{Cm} = U_{c0} \sqrt{C_k/L_k}$  [15,17], в режиме генерации импульсов для первоначального возбуждения дуги составляет от 80 до 445 А, а в режиме генерации стабилизирующих импульсов — от 50 до 170 А.

Из анализа различий в требуемых значениях основных параметров высоковольтных импульсов и импульсов повышенного напряжения следует, что для обеспечения генерации таких импульсов в состав ГИН возбуждателя-стабилизатора должны входить, по меньшей мере, два независимых друг от друга коммутируемых LC-контура.

При этом с целью оптимизации структуры построения силовой части возбуждателя-стабилизатора целесообразно во всех режимах его работы поддерживать неизменным напряжение питания, а также использовать сигналы обратной связи по напряжению  $U_{осн}$  на межэлектродном промежутке и по току  $U_{ост}$  дуги.

Исходя из отмеченных особенностей процессов бесконтактных первоначального и повторных возбуждений дуги и определяемых этими особенностями требований к основным параметрам высоковольтных импульсов и импульсов повышенного напряжения, инициирующим эти процессы, в ИЭС им. Е. О. Патона совместно с ГП «НИЦ СКАЭ ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины» разработан и испытан ряд комбинированных возбуждателей-стабилизаторов для механизированной сварки на переменном токе плавящимся электродом (электродной проволокой), описание построения базовой модели которых приведено ниже.

**Структурное построение базовой модели комбинированного возбуждателя-стабилизатора для механизированной сварки на переменном токе.**

Структурно-функциональная схема базовой модели комбинированного возбуждателя для MIG/MAG на переменном токе\* приведена на рис. 1. Устройство представляет собой модернизированный вариант асинхронного возбуждателя-стабилизатора дуги (АВСД) с выходным импульсным трансформатором *TV1*, число витков каждой из обмоток которого равно единице. Вторичная обмотка *III* этого трансформатора образована участком плавящегося электрода (электродной проволоки), перемещающимся через окно ферромагнитного сердечника трансформатора от кассеты к дуге.

Одним выводом обмотки *III*, обращенным непосредственно к дуге, служит контактирующий с наконечником сварочной горелки вылет плавящегося электрода, вторым выводом — скользящий контакт перемещающегося плавящегося электрода с контактными поверхностями введенного в устройство контактного узла, размещаемого возможно близко ко входу в направляющий канал выходного импульсного трансформатора *TV1*. Помимо трансформатора *TV1*, в состав устройства также входят накопительные конденсаторы *C1*, *C2* и защитный конденсатор *C3*, входной выпрямитель *1*, умножители напряжения постоянного тока *2* и *3*, блок управления *4*, управляемые высоковольтные коммутирующие ключи *5–8*, контактный узел *9*, при этом ключи *5–7* могут иметь одностороннюю проводимость, а ключ *8* — двухстороннюю.

На начальной стадии процесса сварки в режиме первоначального возбуждения дуги ключи *6*, *7* и *8* выключены, а ключ *5* сигналом с управляющего выхода *17* блока управления *4* включен. Во входном выпрямителе *1* напряжение  $U_{\text{вх}}$ , поступающее на вход этого выпрямителя от сети переменного тока или от вторичной обмотки источника питания дуги или с его выходов переменного или постоянного тока, подвергается выпрямлению, сглаживанию и фильтрации.

Сглаженное и отфильтрованное напряжение  $U_0$  с входного выпрямителя *1* поступает на вход умножителя напряжения *2*, где это напряжение повышается до уровня  $k_1 U_0$ . Одновременно с этим напряжение  $k_1 U_0$  с выхода умножителя *2* через включенный ключ *5* подается на вход умножителя *3*, с помощью которого это напряжение повышается до уровня  $k_2 k_1 U_0$ , то есть до заданного уровня заряда накопительного конденсатора *C1*.

\* Заявка UA а2015 10698 від 03.11.2015. Пристрій для збудження та стабілізації процесу горіння дуги змінного струму при механізованому зварюванні плавким електродом / Н. М. Махлін, О. Є. Коротинський, М. І. Скопюк.

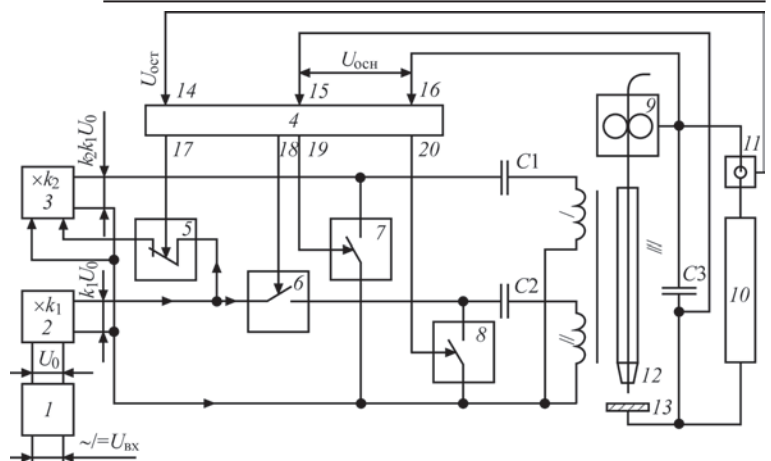


Рис. 1. Структурная схема возбуждателя-стабилизатора для механизированной сварки на переменном токе плавящимся электродом (электродной проволокой) (обозначения см. в тексте)

По завершении заряда этого конденсатора в момент времени, определяемый блоком управления *4* с помощью сигналов обратной связи по напряжению  $U_{\text{осн}}$ , поступающих на входы *15* и *16* блока управления *4*, и соответствующий фазе  $(80 \pm 5)$  электр. град. напряжения сети переменного тока или напряжения холостого хода источника питания дуги переменного тока, начнется генерация сигнала управления ключом *7*. Этот сигнал с управляющего выхода *19* блока управления *4* поступит на управляющий вход ключа *7*, что вызовет включение последнего.

В свою очередь, включение ключа *7* обусловит перезаряд накопительного конденсатора *C1* через первичную обмотку *I* выходного импульсного трансформатора *TV1*, вследствие чего на обмотках *I* и *III* этого трансформатора сформируется высоковольтный импульс. После завершения перезаряда накопительного конденсатора *C1* ключ *7* выключается и с этого момента возобновляется процесс заряда конденсатора *C1*. Далее все процессы заряда и перезаряда этого конденсатора повторяются как описано выше. С обмотки *III* выходного импульсного трансформатора *TV1* высоковольтные импульсы через защитный конденсатор *C3* прикладываются к образованному вылетом плавящегося электрода *12* и свариваемым изделием *13* межэлектродному промежутку, иницируя в нем искровой разряд, что обеспечивает ударную ионизацию межэлектродного промежутка и создает условия для возбуждения в нем устойчивого дугового разряда с помощью источника питания дуги *10*.

С момента возникновения в межэлектродном промежутке устойчивого дугового разряда с информационного выхода датчика тока дуги *11* на вход *14* блока управления *4* начнет поступать сигнал  $U_{\text{ост}}$  уровень которого пропорционален току дуги, что приведет к полному прекращению поступления каких-либо сигналов с выходов



17 и 19 блока управления 4 на управляющие входы ключей 5 и 7 соответственно, вследствие чего прекратится и формирование высоковольтных импульсов и их инжекция в межэлектродный промежуток. Одновременно с выключением ключей 5 и 7 с выхода 18 блока управления 4 на управляющий вход ключа 6 начнет поступать сигнал включения этого ключа, что обусловит начало заряда накопительного конденсатора  $C2$  до уровня  $k_1 U_0$ . По окончании заряда накопительного конденсатора  $C2$  в момент времени, который определяется блоком управления 4 с помощью с помощью сигналов  $U_{\text{ОСН}}$  и соответствует фазе (68...75) электр. град. относительно нулевой фазы напряжения холостого хода источника питания 10, с выхода 20 блока управления 4 на управляющий вход ключа 8 начнет поступать импульсный сигнал включения этого ключа.

При двухсторонней проводимости ключа 8 это вызовет колебательный разряд и перезаряд накопительного конденсатора  $C2$  через первичную обмотку II выходного импульсного трансформатора  $TV1$ , вследствие чего в контуре конденсатор  $C2$ –ключ 8–обмотка II трансформатора  $TV1$  возникнут затухающие высокочастотные колебания. Так как емкость накопительного конденсатора  $C2$  ощутимо больше емкости накопительного конденсатора  $C1$ , то на первичной II и вторичной III обмотках трансформатора  $TV1$  сформируется высокочастотный импульс повышенного напряжения, амплитуда и частота высокочастотных колебаний которого значительно меньше, а длительность значительно больше, чем у высоковольтного импульса, формируемого при перезаряде накопительного конденсатора  $C1$ . В момент завершения разряда и перезаряда конденсатора  $C2$  ключ 8 выключается и с этого момента возобновляется процесс заряда накопительного конденсатора  $C2$ . Далее все процессы заряда, разряда и перезаряда конденсатора  $C2$  повторяются как описано выше. С вторичной обмотки III выходного импульсного трансформатора  $TV1$  высокочастотные импульсы повышенного напряжения через защитный конденсатор  $C3$  поступают в межэлектродный промежуток, вызывая при этом резкое повышение проводимости этого промежутка в интервалах бестоковых пауз, неизбежно возникающих при смене полярности тока дуги, создавая тем самым условия для беспрепятственного возбуждения каждой очередной полуволны тока дуги.

Если в процессе сварки возникнет перерыв в существовании устойчивой дуги переменного тока, то это вызовет прекращение поступления на вход 14 блока управления 4 сигнала  $U_{\text{ОСТ}}$  что обусловит соответствующее изменение состояния выходов 17–20 блока управления 4. Вследствие этого устройство

для механизированной сварки на переменном токе плавящимся электродом (электродной проволокой) автоматически возвратится к функционированию в режиме первоначального возбуждения дуги, а после повторного восстановления устойчивого дугового разряда в межэлектродном промежутке вновь автоматически перейдет к функционированию в режиме повторных возбуждений дуги переменного тока.

К отличительным особенностям разработанного комбинированного возбудителя-стабилизатора для механизированной сварки плавящимся электродом (электродной проволокой) можно отнести необходимость использования высоковольтных ключей и обратных связей по току и напряжению дуги, специфичность конструкции выходного импульсного трансформатора и наличие контактного узла.

В качестве электронных высоковольтных ключей 5–8 могут быть применены соответствующие силовые полупроводниковые приборы, например, тиристоры (65–95) классов типа T600N95 ТОН или рассчитанные на предельно допустимое напряжение коллектор–эмиттер 6500 В IGBT–модули типа FZ750R65KE3 фирмы INFINEON [22]. Для выбора и расчета параметров остальных элементов при проектировании и проектировании возбудителя-стабилизатора для механизированной сварки плавящимся электродом и ему подобных устройств можно воспользоваться соотношениями и рекомендациями, приведенными в работах [14, 15].

На рис. 2 приведена схема одного из возможных вариантов конструктивного исполнения выходного импульсного трансформатора возбудителя-стабилизатора для механизированной сварки плавящимся электродом. В состав трансформатора входят ферромагнитный сердечник 1, представляющий собой сплошной трубчатый цилиндр или набор кольцевых сердечников, изготовленных из ферритовых смесей или распыленного железа [15], внутренняя изоляционная термостойкая втулка 2 с двумя продольными отверстиями 3 и 4, в каждом из которых размещены виток отдельной первичной обмотки трансформатора (например, в отверстии 3 виток первичной обмотки 5, а в отверстии 4 виток первичной обмотки 6), установленный в изоляционной втулке 2 направляющий канал, содержащий жесткую внешнюю немагнитную втулку 7 и пружинистую внутреннюю немагнитную втулку 8 с низким сопротивлением трению при передвижении вдоль нее плавящегося электрода 9, который своим участком 10 образует вторичную обмотку трансформатора. Со стороны, обращенной к дуге, жесткая трубчатая втулка 7 соединена (например, резьбой) с наконечником 11 сварочной горелки. Электрод 9 сматывается с кассеты и с помощью механизма подачи автомата или полуавтомата проталкивается к дуге через

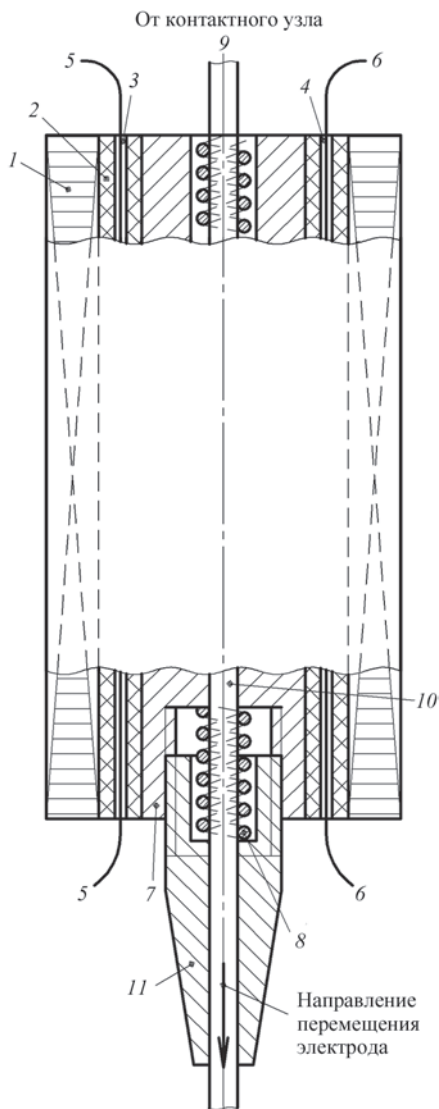


Рис. 2. Вариант конструктивной схемы выходного импульсного трансформатора возбудителя-стабилизатора для механизированной сварки плавящимся электродом (электродной проволокой) (обозначения см. в тексте)

контактный узел разработанного возбудителя-стабилизатора, направляющий канал его выходного импульсного трансформатора и наконечник 11. За счет обеспечиваемой с помощью ферромагнитного сердечника 1 и первичных обмоток 5 или 6 электромагнитной связи с участком 10 электрода 9 во время генерации в ГИН разработанного возбудителя-стабилизатора высоковольтных импульсов или стабилизирующих горение дуги импульсов повышенного напряжения на участке 10 электрода 9 формируются импульсы с практически такими же параметрами, что и на соответствующей первичной обмотке выходного импульсного трансформатора.

Контактный узел разработанного возбудителя-стабилизатора может быть выполнен в виде одного из широко известных механизмов зажима. Одним из примеров построения такого механизма зажима может служить конструкция, основ-

ные элементы которой представляют собой два контакта. Один из них неподвижен и через изоляцию жестко прикреплен к корпусной конструкции контактного узла, а второй может перемещаться в направлении, перпендикулярном продольной оси плавящегося электрода, до достижения такой степени прижатия, которая бы обеспечивала, с одной стороны, практически беспрепятственное перемещение плавящегося электрода, а с другой — надежный скользящий контакт с ним. Оба контакта со стороны, обращенной к плавящемуся электроду, снабжены полуцилиндрическими канавками, образующими цилиндрическую полость, через которую под воздействием усилий механизма подачи автомата или полуавтомата плавящийся электрод проталкивается через направляющий канал выходного импульсного трансформатора по направлению от кассеты к дуге.

Возбудители-стабилизаторы, построенные на основе схемы (рис. 1) с выходным импульсным трансформатором, пример конструктивного выполнения которого приведен на рис. 2, успешно зарекомендовали себя при использовании в экспериментальных специализированных установках для точечной аргодуговой сварки алюминиевых листовых строительных конструкций, а также в экспериментальных образцах оборудования для механизированной сварки плавящимся электродом диаметром (1,6...3,0) мм.

## Выводы

1. Исходя из рассмотренных особенностей первоначального и повторных возбуждений дуги переменного тока, установлено, что совершенствование построения возбудителей-стабилизаторов дуги возможно путем введения в силовую часть этих устройств дополнительного контура ГИН, содержащего, по крайней мере, дополнительный полупроводниковый ключ и последовательно соединенные отдельный емкостной накопитель и дополнительную первичную обмотку повышающего импульсного трансформатора и использования одновременно с этим обратных связей по току и напряжению дуги.

2. Создан возбудитель-стабилизатор для механизированной сварки плавящимся электродом (электродной проволокой) в среде защитных газов, что позволяет существенно расширить использование переменного тока при этом способе дуговой сварки.

1. Патон Б. Е. Импульсное зажигание дуги при газозлектрической и ручной дуговой сварке / Б. Е. Патон, В. А. Завадский // Автоматическая сварка. — 1956. — № 3. — С. 26–35.
2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением; под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 768 с.

3. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга / Г. И. Лесков. – М.: Машиностроение, 1970. – 335 с.
4. Темкин Б. Я. Теория и расчет возбудителей сварочной дуги: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Б. Я. Темкин. – Л., 1981. – 16 с.
5. Оборудование для дуговой сварки: справ. пособие; под ред. В. В. Смирнова. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 656 с.
6. Arc initiation in gas metal arc welding / D. Farson, C. Courardy, J. Talkington et al. // Welding Research Suppl. – 1998. – № 8. – P. 315–321.
7. Махлин Н. М. Особенности бесконтактного возбуждения дуги переменного тока / Н. М. Махлин // Автоматическая сварка. – 2015. – № 10. – С. 30–37.
8. Лаужадис А. И. Влияние частоты тока на стабильность дуги и процесса ручной дуговой сварки / А. И. Лаужадис // Автоматическая сварка. – 1967. – № 9. – С. 29–32.
9. Дыменко В.В. Повышение стабильности процесса и расширение технологических возможностей сварки переменным током плавящимся электродом: дис. ... канд. техн. наук / В. В. Дыменко. – К., 1985. – 277 с.
10. Сварочные источники питания с импульсной стабилизацией горения дуги / Б. Е. Патон, И. И. Заруба, В. В. Дыменко, А. Ф. Шатан. – К.: Екотехнологія, 2007. – 218 с.
11. Коротинский О. С. Високоєфективні джерела живлення для дугового зварювання на основі індуктивно – емнісних перетворювачів: дис. ... д-ра техн. наук / О. С. Коротинський. – К., 2007. – 392 с.
12. <http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-A4272FC1-EE958500>
13. Махлин Н. М. Анализ и методика расчета электронных устройств последовательного включения для бесконтактного возбуждения дуги / Н. М. Махлин, А. Е. Коротынский // Автоматическая сварка. – 2014. – № 1. – С. 34–44.
14. Махлин Н. М. Асинхронные возбудители и стабилизаторы дуги: анализ и методика расчета. Часть 1 / Н. М. Махлин, А. Е. Коротынский // Автоматическая сварка. – 2015. – № 3–4. – С. 25–36.
15. Махлин Н. М. Асинхронные возбудители и стабилизаторы дуги: анализ и методика расчета. Часть 2 / Н. М. Махлин, А. Е. Коротынский // Автоматическая сварка. – 2015. – № 7. – С. 28–40.
16. Теоретические основы электротехники: справочник по теории электрических цепей: под ред. Ю. А. Бычкова, В. Н. Золотницкого, Э. П. Чернышова. – СПб.: Питер, 2008. – 349 с.
17. Дудко Д. А. Тиристорные генераторы импульсов типа УПД-1 / Д. А. Дудко, В. Г. Федотенков, Н. М. Махлин // Автоматическая сварка. – 1980. – № 6. – С. 61–63.
18. А. с. 601877 СССР МПК: В23К 9/06. Устройство для возбуждения дуги / В. Г. Федотенков, Э. И. Шмаков, Г. П. Иванов, Н. М. Махлин. – 14.12.1977.
19. А. с. 490592 СССР, МПК: В23К 9/06. Устройство для возбуждения дуги / Э. И. Шмаков, В. Г. Федотенков, Г. Ф. Колесник, Н. А. Глебов. – Опубл. 05.11.1975. – Бюл. № 41.
20. Пат. UA 109334 України С2, МПК: В23К 9/067 (2006.1), В23К 9/073 (2006.1). Пристрій для збудження та стабілізації процесу горіння дуги змінного струму / Н. М. Махлін, О. С. Коротинський, М. І. Скопюк – Опубл. 10.08.2015. – Бюл. № 15.
21. Зажигание дуги при сварке плавящимся электродом / В. А. Ленивкин, Г. Г. Кленов, Х. Н. Сагиров, Н. Г. Дюргеров // Автоматическая сварка. – 1986. – № 2. – С. 30–34.
22. <http://www.infineon.com>.

Поступила в редакцию 23.11.2015



## Международная конференция «Ti-2016 в СНГ»

Конференция посвящена памяти академика РАН И. В. Горынина

29–31 мая 2016 г.

Санкт-Петербург

Организаторы

Межгосударственная ассоциация «Титан»  
ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей»

Место проведения конференции:

ЦНИИ КМ «Прометей» – пленарное заседание 30 мая 2016 г,  
«Азимут отель Санкт-Петербург» – работа конференции 31 мая 2016 г.

Основные темы конференции:

- рынок титана
- морское применение титана
- рудная база титана
- производство губчатого титана
- новые виды оборудования
- производство слитков и проката из титановых сплавов
- производство и анализ рынка ферротитана
- научные исследования в области титана и его сплавов
- 3D-технологии в титане

<http://www.titan-association.com/#!/ti-2016--/c154y>