

**В.Я. Володин**

**Современные  
сварочные аппараты  
своими руками**



---

**Наука и Техника  
Санкт-Петербург  
2008**

Володин В.Я.

Современные сварочные аппараты своими руками. — СПб.: Наука и техника, 2008. — 304 с.: ил.

ISBN 978-5-94387-383-6

Серия «Домашний мастер»

Появившись более ста лет назад, электродуговая сварка произвела технологическую революцию. К настоящему времени она практически вытеснила все остальные технологии сварки металла. В книге приводятся необходимые сведения по ручной и полуавтоматической электродуговой сварке, а также, в порядке усложнения, — описания различных сварочных источников, пригодных для повторения.

Повествование сопровождается необходимыми методиками расчета, схемами и чертежами. Большое внимание уделяется моделированию с помощью популярной программы SwCAD III.

Следуя авторским рекомендациям, читатели смогут самостоятельно рассчитать и изготовить источники для ручной и полуавтоматической сварки, а желающие приобрести готовое устройство — сделать правильный выбор.

Книга предназначена для широкого круга домашних мастеров, радиолюбителей, интересующихся вопросами электросварки.

## Содержание

<b>Глава 1. Немного истории . . . . .</b>	<b>9</b>
1.1. Изобретение электросварки . . . . .	10
1.2. Развитие электросварки в 20 веке . . . . .	14
<b>Глава 2. Основы дуговой сварки . . . . .</b>	<b>17</b>
2.1. Электрическая дуга . . . . .	18
Физическая сущность . . . . .	18
Вольтамперная характеристика . . . . .	19
Ручная сварка на постоянном токе . . . . .	20
Полуавтоматическая сварка на постоянном токе . . . . .	20
Сварка на переменном токе . . . . .	21
2.2. Процесс сварки . . . . .	23
Сварка неплавящимся электродом . . . . .	23
Сварка плавящимся электродом . . . . .	24
Перенос металла . . . . .	25
2.3. Основные характеристики источников питания сварочной дуги . . . . .	27
<b>Глава 3. Симулятор SwCAD III . . . . .</b>	<b>31</b>
3.1. Моделирование работы источника питания . . . . .	32
Возможности моделирования . . . . .	32
Программы моделирования электронных схем . . . . .	32
Возможности программы LTspice/SwitcherCAD III . . . . .	33
3.2. Работа программы SwCAD III . . . . .	36
Запуск программы . . . . .	36
Рисуем на ПК схему простейшего мультивибратора . . . . .	37
Определение числовых параметров и типов компонентов схемы . . . . .	43
Моделирование работы мультивибратора . . . . .	48
3.3. Моделирование простейшего источника питания . . . . .	57
Низковольтный источник постоянного тока . . . . .	57
Тестовый узел . . . . .	69



9 785943 187383 6  
ISBN 978-5-94387-383-6

Автор и издательство не несут ответственности за возможный ущерб, причиненный в результате использования материалов данной книги.

Контактные телефоны издательства  
(812) 567-70-25, 567-70-26  
(044) 516-38-66

Официальный сайт: [www.nit.com.ru](http://www.nit.com.ru)

© Володин В.Я.

© Наука и Техника (оригинал-макет), 2008

ООО «Наука и Техника».

198097, г. Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д. 29.

Подписано в печать . Формат 60×88 1/16.

Бумага газетная. Печать офсетная. Объем 19 п. л.

Тираж 4000 экз. Заказ № .

Отпечатано с готовых диапозитивов в ФГУП ордена Трудового Красного Знамени «Техническая книга» Министерства Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.  
1900005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29.

<b>Глава 4. Сварочный источник переменного тока</b> . . . . .	<b>73</b>
4.1. Ручная сварка штучными электродами . . . . .	74
Условия для обеспечения высокого качества сварки . . . . .	74
Модель электрической дуги переменного тока . . . . .	76
Сварочный источник с балластным реостатом (активным сопротивлением) . . . . .	78
Сварочный источник с линейным дросселем (индуктивным сопротивлением) . . . . .	80
Сварочный источник с дросселем и конденсатором . . . . .	81
4.2. Сварочный трансформатор . . . . .	85
Особенности специализированных сварочных трансформаторов . . . . .	85
Как рассчитать индуктивность рассеяния? . . . . .	88
Требования к сварочному трансформатору . . . . .	93
Расчет сварочного трансформатора . . . . .	94
Уточнение конфигурации окна сердечника трансформатора . . . . .	97
Конструкция сварочного источника переменного тока . . . . .	99
 <b>Глава 5. Сварочный источник для полуавтоматической сварки</b> . . . . .	<b>103</b>
5.1. Основы полуавтоматической сварки . . . . .	104
5.2. Расчеты элементов схемы . . . . .	109
Определение параметров и расчет силового трансформатора источника . . . . .	109
Процедура настройки модели . . . . .	112
Расчет омического сопротивления обмоток . . . . .	113
Расчет индуктивности и сопротивления обмоток трансформатора . . . . .	113
Расчет габаритных размеров трансформатора . . . . .	116
Завершение расчета трансформатора . . . . .	118
Расчет дросселя источника подпиточного тока . . . . .	119
5.3. Описание конструкции простого источника для полуавтоматической сварки . . . . .	121
Схема простого источника для полуавтоматической сварки . . . . .	121
Детали для сварочного полуавтомата . . . . .	123
Конструкция и изготовление сварочного трансформатора . . . . .	124

Конструкция дросселя . . . . .	126
Подключение источника . . . . .	127

<b>Глава 6. Сварочный источник для полуавтоматической сварки с тиристорным регулятором</b> . . . . .	<b>129</b>
6.1. Регулировка сварочного тока . . . . .	130
6.2. Обеспечение непрерывности сварочного тока . . . . .	131
6.3. Расчет сварочного трансформатора . . . . .	140
6.4. Блок управления . . . . .	142
6.5. Описание конструкции сварочного источника с тиристорным регулятором . . . . .	144
Принципиальная электрическая схема . . . . .	144
Детали . . . . .	146
Конструкция сварочного трансформатора . . . . .	147
Конструкция дросселя . . . . .	149
Подключение источника . . . . .	149
 <b>Глава 7. Электронный регулятор сварочного тока</b> . . . . .	<b>151</b>
7.1. Многопостовая сварка . . . . .	152
Многопостовая сварка с подключением через индивидуальный балластный реостат . . . . .	152
Электронный аналог балластного реостата ЭРСТ . . . . .	152
7.2. Расчет основных узлов ЭРСТ . . . . .	155
7.3. Описание ЭРСТ . . . . .	169
Основные варианты защиты . . . . .	169
Назначение основных узлов ЭРСТ . . . . .	171
Принцип действия . . . . .	171
Принцип работы и настройка блока А1 . . . . .	172
Принцип работы и настройка блока А2 . . . . .	176
Принцип действия стабилизатора . . . . .	178
Настройка . . . . .	187
Формирование внешних характеристик ЭРСТ . . . . .	188
Принцип работы блока управления ЭРСТ . . . . .	189
Принцип работы блока драйвера ключевого транзистора . . . . .	192
Завершающая настройка ЭРСТ . . . . .	195

<b>Глава 8. Инверторный сварочный источник</b> . . . . .	<b>199</b>
8.1. Предистория. . . . .	200
8.2. Общее описание источника . . . . .	202
8.3. Рекомендации для самостоятельного изготовления ИСИ . . . . .	208
8.4. Расчет трансформатора прямоходового преобразователя . . . . .	210
8.5. Изготовление трансформатора. . . . .	218
8.6. Расчет мощности потерь на транзисторах преобразователя . . . . .	219
8.7. Расчет дросселя фильтра сварочного тока . . . . .	224
8.8. Моделирование работы преобразователя . . . . .	226
8.9. Расчет трансформатора тока . . . . .	228
8.10. Расчет трансформатора гальванической развязки . . . . .	230
8.11. ШИМ-контроллер TDA4718A . . . . .	233
Блок управления (БУ) . . . . .	233
Генератор, управляемый напряжением (ГУН) . . . . .	235
Генератор пилообразного напряжения (ГПН) . . . . .	236
Фазовый компаратор (ФК) . . . . .	236
Счетный триггер . . . . .	236
Компаратор К2 . . . . .	236
Отключающий триггер . . . . .	237
Компаратор К3 . . . . .	237
Компаратор К4 . . . . .	237
Мягкий старт. . . . .	238
Триггер ошибки . . . . .	238
Компараторы К5, К6, К8 и перегрузка по току VRF . . . . .	238
Компаратор К7 . . . . .	238
Выходы . . . . .	239
Опорное напряжение . . . . .	239
8.12. Блок управления инверторного сварочного источника «RytmArc». . . . .	240
Принципиальная схема . . . . .	240
Узлы блока управления . . . . .	244
8.13. Формирование нагрузочной характеристики источника . . . . .	247
Основные участки ВАХ . . . . .	247
Средства формирования ВАХ . . . . .	248
8.14. Методика настройки БУ . . . . .	251

8.15. Использование альтернативного ШИМ-контроллера . . . . .	253
Замены устаревшего ШИМ-контроллера TDA4718A . . . . .	253
Особенности микросхемы TDA4718A . . . . .	256
8.16. Трансформаторный драйвер . . . . .	260

**Глава 9. Полезная информация . . . . . 267**

9.1. Как испытать неизвестное железо? . . . . .	268
9.2. Как рассчитать трансформатор? . . . . .	270
9.3. Как рассчитать дроссель с сердечником? . . . . .	274
Особенности расчета . . . . .	274
Пример расчета № 1 . . . . .	277
Пример расчета № 2 . . . . .	278
Пример расчета № 3 . . . . .	281
9.4. Как рассчитать радиатор? . . . . .	285
9.5. Как изготовить сварочные электроды? . . . . .	292

**Список использованной литературы и ресурсов Интернет . . . . . 293**

ГЛАВА 1

**НЕМНОГО ИСТОРИИ**

*В главе приводится краткая хронология событий,  
связанных с изобретением и промышленным  
применением дуговой сварки.*

## 1.1. Изобретение электросварки

С момента своего появления человек наблюдал мощные атмосферные электрические разряды — молнию. Еще не имея понятия о физической природе этих разрядов, человек мог наблюдать их световое и тепловое воздействие. Но прошло очень много лет, прежде чем наука, созданная человеком, позволила ему вплотную приблизиться к изучению и практическому использованию электрической энергии для целей разогрева и плавления металлов.

**Главной проблемой** было отсутствие достаточно мощного источника электрической энергии. Первыми искусственными источниками электрической энергии были различные электростатические генераторы. С одним из этих генераторов — **электрофорной машиной** — мы знакомы со школьных уроков физики.

Подобные генераторы обеспечивали высокое напряжение при весьма низкой плотности энергии и не подходили для изучения теплового действия тока. Попытка использования для экспериментов атмосферного электричества закончилась трагически. В 1753 году в Петербурге во время эксперимента с молнией погиб русский ученый Георг Вильгельм Рихман, работавший вместе с Ломоносовым.

В 1800 году итальянским ученым Алессандро Вольта был изобретен первый **химический источник тока**. Это был **элемент Вольта**, который представлял из себя сосуд с соленой водой с опущенными в него цинковой и медной пластинками, соединенными проволокой. Затем ученый собрал батарею из этих элементов, которая впоследствии была названа **Вольтовым столбом** (рис. 1.1).

Вольтовый столб мог обеспечить большую мощность по сравнению с электрофорной машиной. Благодаря этому, изобретение Вольта впоследствии использовали многие другие ученые в своих исследованиях. В 1802 году русский ученый

Василий Владимирович Петров с помощью созданного им крупнейшего для того времени вольтового столба смог зажечь электрическую дугу между двумя кусочками древесного угля.

До В. В. Петрова электрический свет наблюдали

лишь во вспышке молнии, а теперь он горел непрерывно. **Электрическая дуга** была первым источником непрерывного электрического света, в качестве которого достаточно долго использовалась. Кроме светового действия, он отметил и тепловое действие дуги.

В процессе экспериментов, заменив один из угольков металлической проволокой, В. В. Петров заметил, что при сближении угля с проволокой между ними вспыхивает электрическая дуга, которая быстро плавит металлическую проволоку. Так ученый пришел к другому очень важному выводу — **о возможности использования электрической дуги для плавления металлов**.

К сожалению, химические источники тока не позволяли в достаточном количестве вырабатывать электроэнергию, и практическое использование электрической дуги было отложено. Потребовались годы совместных усилий ученых всего мира, направленных на создание мощных, экономичных и удобных в эксплуатации электрических генераторов.

С первой половиной XIX столетия связано множество изобретений в области электротехники. В 1831 г. знаменитым американским ученым М. Фарадеем был открыт **принцип электромагнитной индукции**. Согласно этому принципу, открывалась возможность *преобразования механического движения в электрический ток*. Фарадеем был создан первый **электромашинный генератор** (рис. 1.2), а также прообраз современного трансформатора.

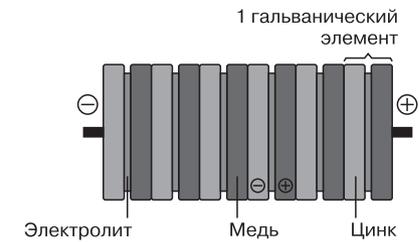
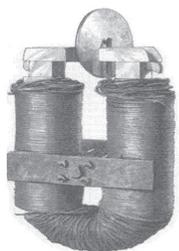


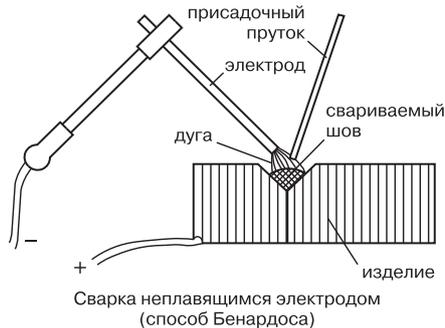
Рис. 1.1. Вольтовый столб



**Рис. 1.2.**  
Электромашинный генератор Фарадея

Использование электромашинных генераторов вместо химических источников тока послужило толчком для использования электричества в промышленности. В свою очередь, быстро развивающаяся промышленность нуждалась в технологии, позволяющей осуществлять быстрое и дешевое сваривание металлов. Старые кузнечные методы сварки и клепки занимали много времени, не обеспечивали необходимого качества и прочности соединения.

С середины XIX в. внимание ученых и изобретателей во многих странах было обращено на применение высокой температуры электрической дуги для сваривания и плавления металлов. Но только спустя 80 лет с момента открытия электрической дуги, в 1882 году, талантливому русскому изобретателю **Николаю Николаевичу Бенардосу** удалось разработать промышленно пригодный способ электродуговой сварки металлов. Сварка способом Бенардоса (**рис. 1.3**) велась с присадочным прутом, расплавляемым в пламени дуги, горячей между электродом (угольным, графитовым или вольфрамовым) и изделием.



**Рис. 1.3.** Сварка способом Бенардоса

Данный способ используется и сейчас для сварки цветных металлов, а также при наплавке твердых сплавов. Для питания сварочной дуги Н. Н. Бенардос использовал аккумуляторы собственной конструкции, которые заряжались от электрического генератора.

К сожалению, швы, сваренные по технологии Бенардоса, получались ломкими и хрупкими. Источником неудач являлся угольный электрод, с которого углерод проникал в сварочную ванну и ухудшал качество металла сварного шва.

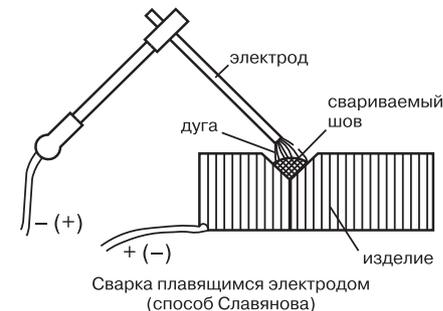
В 1888 году русский инженер-изобретатель Николай Гаврилович Славянов разработал новый способ сварки при помощи металлического плавящегося электрода (**рис. 1.4**).

Замена графитового электрода металлическим позволила значительно улучшить качество сварки. Для питания сварочной дуги Н. Г. Славянов использовал электрическую динамо-машину собственной конструкции.

Ближе к концу XIX века в промышленности все в больших масштабах стал использоваться переменный ток, который со временем повсеместно вытеснил ток постоянный.

Напряжение переменного тока можно было легко преобразовывать при помощи трансформаторов, что существенно упрощало его транспортировку к потребителю. К тому же генераторы переменного тока имели более простую конструкцию и меньшую стоимость. Однако переменный ток был неудобен для электросварки — электрическая дуга горела неустойчиво.

Проблема была решена с помощью **специальной обмазки**, которой покрывался металлический электрод. Обмазка плавилась вместе с электродом, ее пары ионизировали дуговой промежуток, что облегчало повторное зажигание дуги. Первые конструкции электродов, содержащих покрытия, были созданы Н. Н. Бенардосом. Покрытые электроды современного вида изобретены шведским инженером Кельбергом в 1911 году.



**Рис. 1.4.** Сварка способом Славянова

## 1.2. Развитие электросварки в 20 веке

Сейчас по технологии Славянова производится наиболее массовый вид сварки — это ручная сварка **штучными металлическими электродами**. Данный тип сварки обозначается аббревиатурой **MMA (Manual Metal Arc)**.

При дуговой сварке атмосферный кислород и азот активно взаимодействуют с расплавленным металлом, образуют окислы и нитриды, которые снижают прочность и пластичность сварного соединения. Идея защиты сварочной ванны специальными флюсами принадлежит Н. Г. Славянову, впервые применившему в качестве флюса дробленое стекло.

В 1936 году американская фирма «Линде» получила патент на способ сварки стали под слоем порошкообразных, расплавляющихся при сварке веществ. В СССР сварка под расплавляющимися флюсами была разработана и внедрена в промышленность в 1938—1940 годах Институтом электросварки АН УССР (ныне имени Евгения Оскаровича Патона). Именно этот способ сварки позволил наладить массовый выпуск бронетехники во время Великой Отечественной войны 1941—1945 годов.

**Сварка в струе защитных газов** изобретена Н. Н. Бенардосом. Защита от воздуха, по его предложению, осуществлялась светильным газом. В период Второй мировой войны в США получила развитие сварка в струе аргона или гелия неплавящимся вольфрамовым электродом и плавящимся электродом (рис. 1.5).

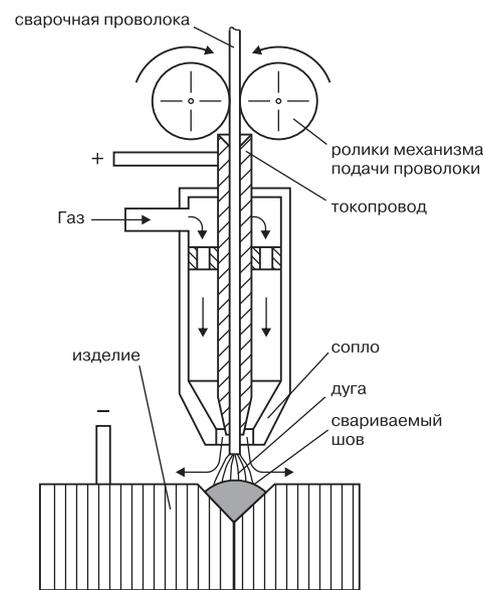
Этим способам сварки присвоена аббревиатура **TIG** и **MIG**. **TIG (Tungsten Inert Gas)** — сварка неплавящимся (вольфрамовым) электродом в среде инертного защитного газа, например так называемая **аргонно-дуговая сварка**.

**MIG (Mechanical Inert Gas)** — механизированная (полуавтоматическая или автоматическая) сварка в струе инертного защитного газа.

В 1952 году К. В. Любавским и Н. М. Новожиловым была изобретена специальная **легированная проволока**, примене-

ние которой позволило осуществлять сварку плавящимся электродом в среде углекислого газа. Этому способу сварки присвоена аббревиатура **MAG**. **MAG (Mechanical Active Gas)** — **механизированная (полуавтоматическая или автоматическая) сварка в струе углекислого (активного) газа**. Именно этот способ сварки нашел в настоящее время широкое применения в автосервисе.

Практически до середины XX века в качестве источников питания сварочной дуги использовались **специализированные сварочные генераторы и трансформаторы**. Соответственно, первые предназначались для сварки постоянным током, а последние — для сварки переменным током. Параметры источника достаточно жестко определялись его конструкцией, и поэтому каждый источник предназначался для определенного типа сварки. Успехи силовой электроники в 1960-е и последующие годы позволили создавать универсальные и компактные сварочные источники с улучшенными параметрами.



Полуавтоматическая сварка плавящимся электродом в струе защитного газа

Рис. 1.5. Сварка в среде инертного газа

ГЛАВА 2

**ОСНОВЫ ДУГОВОЙ СВАРКИ**

*В популярной форме описывается электрическая дуга, ее вольтамперная характеристика, процессы переноса металла, а также различные технологии сварки.*

## 2.1. Электрическая дуга

### Физическая сущность

**Определение.** *Электрической дугой называется мощный длительный электрический разряд в среде ионизированных газов между электродами, находящимися под напряжением.*

Процесс возбуждения дуги начинается с соприкосновения электродов между собой. В момент размыкания электродов между ними проскакивает **искра**, которая ионизирует газ в межэлектродном пространстве, создавая **канал проводимости**.

Под действием электрического поля электроны в ионизированной газовой среде перемещаются от катода к аноду, развивая при этом значительную скорость. Сталкиваясь с нейтральными атомами газа и выбивая из них электроны, они производят непрерывную ионизацию газового пространства.

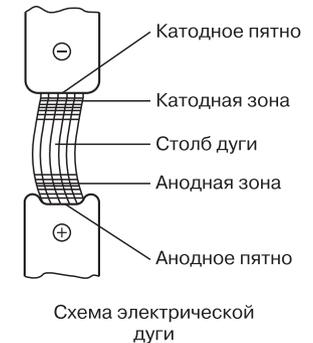
При этом выделяется большое количество тепла. Газ в дуговом промежутке нагревается до температуры 5000—7000 °С и находится в состоянии плазмы. В свою очередь, образовавшиеся положительные ионы движутся к катоду и, отдавая ему свою энергию, вызывают сильный нагрев электрода, образуя при этом катодное пятно. Электроны, прошедшие дуговой промежуток, ударяются о положительный электрод (анод), отдавая ему свою энергию, образуя при этом анодное пятно.

Схематически электрическая дуга изображена на **рис. 2.1**.

Зажигание дуги может происходить и без первичного короткого замыкания, если между электродами при помощи высоковольтного генератора-осциллятора кратковременно приложить высокое напряжение, достаточное для электри-

ческого пробоя межэлектродного слоя газа.

Электроны, обладая меньшей массой, двигаются в дуге значительно быстрее. Поэтому в дуге преобладает электронный ток, направленный от катода к аноду. Вследствие преобладания электронного тока количество тепла, выделяемого электронами на аноде, больше, чем на катоде.



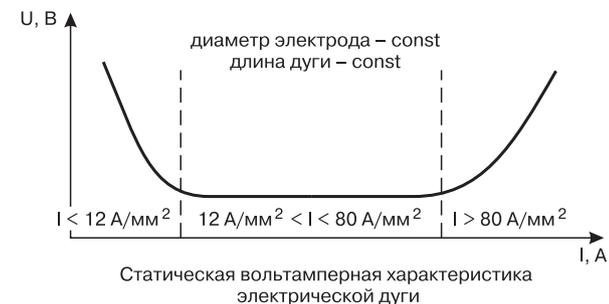
**Рис. 2.1.** Электрическая дуга

Сказанное подтверждается экспериментальными данными, согласно которым выделяется:

- ♦ на аноде — 43 % тепла;
- ♦ на катоде — 36 % тепла;
- ♦ в столбе дуги — 21 % тепла.

### Вольтамперная характеристика

На **рис. 2.2** приведена статическая вольтамперная характеристика (ВАХ) электрической дуги.



**Рис. 2.2.** Статическая вольтамперная характеристика дуги