

А. И. БАРДИН, канд. техн. наук, **С. В. НИКИТИН**, инж., **А. В. РОМАНОВ**, канд. техн. наук, **А. В. ДЖАНИКЯН**, инж. (Рязанский Государственный радиотехнический университет),

А. П. БИРЮКОВ, гл. конструктор (Государственный Рязанский приборный завод)

E-mail: info@grpz.ru

Трехфазный сварочный инвертор "Форсаж-502"

Приведены технические характеристики, основные функции и режимы нового инверторного сварочного аппарата "Форсаж-502", работающего от трехфазной сети или автономных передвижных источников электропитания.

Technical characteristics, principal functions and modes of new welding machine "For-sage-502" operating from three-phase electric mains or from autonomous moveable power sources are covered.

Ключевые слова: дуговая сварка, сварочные аппараты, "Форсаж", технические характеристики
Key words: arc welding, welding machines, "Forsage", technical characteristics

17-летний опыт проектирования и производства сварочной техники Государственного Рязанского приборного завода (ГРПЗ) в содружестве с Рязанским государственным радиотехническим университетом (РГРТУ), постоянный диалог с пользователями позволили создать экономичные аппараты с оптимальными свойствами сварочной дуги и удобством применения [1—4].

эффективность от вложенных средств.

Сварочные аппараты "Форсаж" — это современное высокотехнологичное отечественное оборудование для профессиональной ручной дуговой, аргодуговой и механизированной высококачественной сварки.

Сварочный аппарат постоянного тока "Форсаж-502" (рис. 1) — на сегодняшний день самый мощный отечественный сварочный инвертор, который способен обеспечить в дуге до 20 кВт полезной мощности (500 А, 40 В).

В аппарате достигнуто оптимальное сочетание высоких энергетических параметров с расширенными функциональными возможностями. "Форсаж-502" полностью заменяет предыдущую модель данного класса "Форсаж-500".

Традиционно для завода в рамках подготовки нового аппарата к запуску в серийное производство проведены эксплуатационные испытания на производственных объектах. При выполнении большого объема профессиональных сварочных работ разного уровня сложности специалистами были



Рис. 1. Сварочный аппарат "Форсаж-502"

Широкий спектр инверторных сварочных аппаратов "Форсаж" с различными функциональными возможностями позволяет выбрать модель под конкретные задачи, обеспечивая максимальную отдачу и

| | Функция | Базовая модификация (заводские настройки) | Расширенная модификация (регулируемые настройки) |
|----------|---|--|---|
| Режим | "Горячий старт" Наклон ВАХ, В/А "Форсаж дуги" | 160 %; 0,6 с*, отключаемый 1,85* 100 ед. (0,35 В/А)* | 0—200 %; 0—2 с 0,35—1,85 0—100 ед. (1,85—0,35 В/А) |
| MMA | | | |
| MIG/MAG | Базовый ток, А Наклон ВАХ, В/А Скорость нарастания тока при КЗ (di _{кз} /dt), кА/с | 25* 0,015* 100* | 5—30 0,01—0,04 60—160 |
| TIG | Ток дежурной дуги, А Время нарастания тока, с Время спада тока ("Заварка кратера"), с | 15* 1* 3* | 15—40 0,3—10 0,3—15 |
| TIG, MMA | Импульсный режим | Нет | Время импульса 0,05—2 с Время паузы 0,05—2 с Ток паузы: от минимального до установленного |

* Значения параметров могут меняться по заявке заказчика.

подтверждены высокие эксплуатационные характеристики сварочного аппарата "Форсаж-502".

В режиме MIG/MAG сварка производится в защитных газах сплошной или порошковой электродной проволокой диаметром от 0,8 до 2,0 мм. [Сварочные инверторы "Форсаж-502"](#) применяются совместно с внешними механизмами подачи проволоки "Форсаж-МП", "Форсаж-МП5", "Форсаж-МПм" или аналогичными механизмами с напряжением питания 24 В постоянного тока. В составе аппарата имеется встроенный источник питания механизма подачи проволоки (24 В).

Сварочный аппарат "Форсаж-502" можно применять для ручной дуговой сварки (режим MMA) покрытыми плавкими электродами любой марки диаметром от 1,6 до 5,0 мм, а также в качестве источника тока для аргонодуговой сварки (режим TIG) при наличии дополнительного оборудования.

Аппарат выпускают в двух модификациях — базовой и расширенной, отличающихся набором функциональных возможностей и регулировок параметров, которые определяются лицевой панелью управления/индикации (рис. 2).

В базовой модификации установлены заводские настройки дополнительных параметров, в расширенной — дополнительные параметры могут регулироваться сварщиком для получения оптимального результата сварки. Отличительные особенности модификаций приведены в таблице.

Основным элементом управления и защиты аппарата "Форсаж-502" является программируемый микроконтроллер.

Силовой инвертор построен по схеме полного моста на современных ультрабыстрых IGBT-модулях



Рис. 2. Съемные взаимозаменяемые лицевые панели управления и индикации:

квизирезонансным переключением на нулевом напряжении (ZVS) и фазоразностной широтно-импульсной модуляцией (ФШИМ). Частота преобразования около 30 кГц.

Аппарат "Форсаж-502" оснащен всеми необходимыми защитными функциями, обеспечивающими надежную безаварийную работу: защита от отклонений более допустимых значений напряжения питающей сети (монитор питания), от перегрева термонапряженных элементов, от короткого замыкания в нагрузке. При возникновении аварийного события источник блокируется, выходное напряжение снижается до нуля, а при превышении сетевым напряжением уровня 450 В источник отключается от сети. Аппарат автоматически и полностью восстанавливает работоспособность при снятии аварийной ситуации. Кроме того, в аппаратах "Форсаж-502" реализована защита от перегрузки по току силовых транзисторов. При возникновении аварийного события на дисплей выводится расширенная информация об ошибке.

Техническая характеристика

Электропитание — трехфазная сеть переменного тока 50—60 Гц (стационарная или автономная) с номинальным линейным напряжением, В.... 380 (±15 %)

Электрическая мощность, потребляемая от сети, кВт · А, не более..... 27,7

Основной режим работыMIG/MAG

Дополнительные режимы работы ... MMA, TIG

Диапазон сварочного напряжения в режиме MIG/MAG, В..... 15—40

- Диапазон сварочного тока, А:*
- в режиме MMA..... 20—500*
- в режиме TIG..... 15—500*
- Напряжение холостого хода, В:*
- в активном режиме 60—80*
- в безопасном режиме ...4—6*
- Время переключения аппарата на безопасное напряжение холостого хода,*
- с, не более..... 0,6*
- Коэффициент электрической нагрузки, %, при рабочем цикле 10 мин, рабочей температуре окружающего воздуха (25 ± 2)°С и сварочном токе, А:*
- 500..... 100*
- 400..... 60*
- Диаметр электродной проволоки в режиме MIG/MAG, мм..... 0,8—2,0*
- Диаметр электрода в режиме MMA, мм..... 1,6—5*
- Цифровая индикация установленных и текущих параметров..... Есть*
- Дистанционное управление Есть*
- Рабочий диапазон температуры окружающей среды, °С..... -20-40*
- Напряжение питания механизма подачи проволоки, В 24*
- Габаритные размеры, мм430x225x435*
- Масса, кг..... 25,9*

Основные функции и режимы аппарата "Форсаж-502"

1. Цифровая индикация заданного значения сварочного тока (напряжения)

При отсутствии тока в сварочной цепи индикатор тока в режимах MMA и TIG или индикатор напряжения в режиме MIG/MAG показывает заданное значение тока (А) или напряжения (В) дуги. Напряжение, при котором сварочный ток будет равен заданному, определяется по формулам:
для режима MMA

$U = 20,0 + 0,04I$,
для режима TIG
 $U = 10,0 + 0,04I$.

Для режима MIG/MAG ток, при котором напряжение будет равно заданному,
 $I = 20(17-14,0)$.

Для обозначения, что индицируемое значение не является измеряемым, соответствующие индикаторы мигают с периодом 0,5 с.

2. Точная регулировка выходного тока (напряжения)

Для установки заданного значения тока (напряжения) используется поворотный энкодер. Дискретность установки тока 1 А, установки напряжения — 0,1 В. При ускоренном вращении энкодера шаг увеличивается пропорционально скорости вращения.

3. Измерение и цифровая индикация текущего значения тока и напряжения сварочной цепи

При наличии тока в сварочной цепи индикаторы тока и напряжения показывают текущее среднее значение измеряемой величины. Время усреднения 1,0 с. Точность измерения тока не ниже ± 3 А, напряжения — $\pm 0,5$ В (точки, на которых измеряется напряжение — внутренний болт выходных силовых разъемов).

4. Набор вольт-амперных характеристик

В аппаратах "Форсаж-502" базовой модификации ВАХ оптимизированы для работы: в режиме MMA — крутопадающая;

в режиме TIG — штыковая (источник тока);

в режиме MIG/MAG — пологопадающая.

В аппаратах расширенной модификации наклон рабочего участка ВАХ регулируется в диапазонах:

— в режиме MIG/MAG — 10—40 мОм;

— в режиме MMA — 0,35—1,85 В/А.

5. "Горячий старт"

Применяется только в режиме MMA. В базовом варианте после зажигания дуги значение тока составит 160 % установленного значения (но не более максимального тока) и далее будет линейно спадать в течение 0,6 с до нормы с возможностью включения/отключения этого режима кнопкой на передней панели аппарата.

В аппаратах расширенной модификации ток "Горячего старта" — регулируемый в диапазоне 0—200 % от установленного, время — в диапазоне 0—2 с, скорость спада тока постоянна, т. е. если увеличение будет, например, на 100 %, то ток спадет за 1 с.

6. "Форсаж дуги"

Применяется в режиме MMA. В базовом варианте увеличение выходного тока при уменьшении напряжения дуги ниже 15 В за счет уменьшения наклона ВАХ ниже этой точки с 1,85 до 0,35 В/А. Фактически можно трактовать как увеличение тока короткого замыкания (КЗ).

В аппаратах расширенной модификации диапазон регулирования составляет 0—100 условных единиц, соответствующих изменению наклона ВАХ в режиме, близком к короткому замыканию (ниже 15 В) от 1,85 до 0,35 В/А.

7. Управляемая функция "Дежурная дуга"

Применяется в режиме TIG. Ток начала и окончания сварочного процесса. Если применяется горелка с кнопкой, то такое значение тока будет удерживаться до тех пор, пока сварщик будет удерживать кнопку после зажигания дуги или заварки кратера.

В базовом варианте дежурный ток равен минимальному

значению тока дуги в режиме TIG (15 А).

В расширенном варианте он может регулироваться в диапазоне от 15 до 40 А.

8. Функция плавного нарастания тока дуги

Применяется только в режиме TIG. В базовой модификации время линейного увеличения выходного тока от момента отпускания кнопки на горелке (после дежурного тока) до момента достижения им установленного номинального значения составляет 1 с. В расширенном варианте время плавного нарастания тока дуги в режиме TIG регулируется в диапазоне 0,3—10 с.

9. Функция плавного спада тока дуги ("Заварка кратера")

Применяется только в режиме TIG. Время линейного уменьшения выходного тока от момента нажатия на кнопку на горелке (после проведения сварки номинальным током) до момента достижения им значения тока дежурной дуги в базовом варианте составляет 3 с.

Время "Заварки кратера" в расширенном варианте можно регулировать в диапазоне 0,3—15 с.

После окончания выдержки на выходе аппарата будет стабилизироваться ток дежурной дуги, пока удерживается кнопка. Если отпустить кнопку до окончания выдержки, ток прекратится.

10. Функция "Базовый ток"

Применяется в режиме MIG/MAG. Значение тока, ниже которого выходная "жесткая" характеристика аппарата имеет излом, и напряжение начинает возрастать вплоть до величины U_{xx} .

В базовой модификации значение базового тока оптимизировано, в расширенной — регулируется в диапазоне 5—30 А.

11. Функция плавного нарастания тока короткого замыкания

Динамическая характеристика, применяется только в режиме

MIG/MAG. Скорость увеличения тока на выходе аппарата с момента касания сварочной ванны расплавленной каплей сварочной проволоки. В базовом варианте она оптимизирована, в расширенном — регулируемая в пределах 60—160 кА/с.

Скорость уменьшения выходного тока после отрыва капли не регулируется и составляет 180 кА/с.

12. Функция запоминания текущих параметров сварки

При выключении питания все текущие значения выходных параметров сохраняются в памяти текущего режима работы (MMA, TIG или MIG/MAG). При включении аппарата загружаются параметры последнего режима сварки.

13. Функция автоматического переключения режимов работы

При нажатии кнопки на горелке TIG аппарат автоматически переключается в режим TIG, при нажатии кнопки на горелке TIG – в режим TIG.

14. Контактный поджиг дуги в режиме TIG с использованием кнопки на горелке.

Эта функция обеспечивает щадящий поджиг дуги на токе "дежурной дуги" до момента отпускания кнопки (см. п.п. 7, 8). Причем при нажатии на кнопку горелки перед началом сварки на выходе аппарата остается безопасное напряжение 4-5 В (см. также п.16).

15. Контактный поджиг дуги в режиме TIG без использования кнопки на горелке.

Если аппарат переведен в режим TIG кнопкой на передней панели, включить силовой преобразователь можно не только кнопкой на горелке, но и сделав короткое замыкание на выходе. В этом случае в начальный момент времени выходной ток будет равен току дежурной дуги и сразу начнет нарастать за время нарастания

тока дуги (см. п. 8) до номинального значения. Если нажать кнопку на горелке TIG, поджиг дуги контактным способом без использования кнопки на горелке становится невозможным, и аппарат управляется от кнопки в соответствии с описанием, приведенным в п. 14.

16. Функция ограничения напряжения холостого хода на безопасном уровне.

Применяется только в режимах MMA в аппаратах, изготовленных по отдельному заказу.

Если выходное напряжение аппарата превышает 50 В в течение не более 0,6 сек после окончания сварки, то силовой преобразователь отключается, и на выходе аппарата остается напряжение от 4 до 6 В. Потребляемая мощность аппарата в этом режиме не превышает 15 Вт. Включение выключенного преобразователя произойдет, если производится касание электродом свариваемой детали или сопротивление цепи, подключенной к выходным зажимам, будет менее 100 Ом.

В аппарате предусмотрена возможность отключения режима ограничения выходного напряжения с помощью технологической перемычки на плате.

17. Импульсный режим

Отсутствует в **базовой** модификации. Предназначен для работы короткими швами (в режимах "MMA" и "TIG"), позволяет регулировать длительность импульса и паузы от 0,05 до 2 сек и ток паузы – от минимального до установленного значения.

18. Функция записи пользовательских программ

Функция доступна только для **расширенной** модификации. Память программ рассчитана на хранение 72 пользовательских программ (по 24 программы для каждого из режимов MMA, TIG и MIG/MAG). При этом в памяти хранится информация обо всех параметрах, которые могут устанавливаться в текущем режиме.

19. Функция защиты от прокаливания электрода ("AntiStick").

Применяется только в режиме MMA. Если с момента начала короткого замыкания для инициирования электрической дуги его длительность превышает 1 сек, силовой преобразователь выключается. Повторное включение возможно только после устранения короткого замыкания.

20. Выключение аппарата при длительном КЗ сварочной цепи

Если в процессе горения дуги происходит короткое замыкание длительностью более 3 сек, силовой преобразователь выключается. Повторное включение возможно только после устранения короткого замыкания.

21. Защита аппарата от включения при КЗ сварочной цепи

Если при включении питания сварочного аппарата выходные клеммы оказываются замкнутыми, силовой преобразователь не включится. Включение возможно только после устранения короткого замыкания.

22. Защита от перегрузки по току силовых транзисторов

В аппарате предусмотрена триггерная защита по мгновенному току силовых транзисторов. Выход из режима защиты от перегрузки возможен только путем выключения и повторного включения аппарата.

23. Защита от перегрева

Контролируется температура радиатора транзисторов преобразователя и силового трансформатора. Преобразователь выключается, если температура одного из радиаторов превысит 85°C или температура трансформатора превысит 100°C. Включение преобразователя возможно, если температура радиаторов станет менее 55°C, а трансформатора 70°C.

24. Монитор питания

В аппарате предусмотрена защита от аварийных отклонений питающего напряжения за пределы допустимого диапазона, автоматически выключающая силовой преобразователь с

возможностью его отключения от сети питания.

Если напряжение питающей сети превышает 265 В (фазное), силовой преобразователь отключается и его

питание размыкается. Если входное напряжение опускается ниже 170 В или отсутствует одна из фаз электросети, силовой преобразователь также отключается.

Силовой преобразователь аппарата включается автоматически в течение не более 3 с после возвращения напряжения сети в допустимый диапазон.

25. Идентификация и индикация ошибок

При срабатывании термозащиты на индикатор выводится надпись "Er.1" или "Er.3" (в зависимости от номера термистора) и текущее значение температуры горячего элемента, нагрев которого вызвал срабатывание защиты.

При завышенном напряжении питающей сети индицируются надписи "Er.5" и "НАП", при заниженном — "Er.4" и "НАП".

При срабатывании защиты от перегрузки силовых транзисторов в зависимости от причины, его вызвавшей, индикаторы показывают "Er.6", "Er.7", "Er.8" или "Er.9".

26. Аналоговое дистанционное управление

Позволяет управлять выходным током (режимы MMA, TIG) или напряжением (MIG/MAG) при помощи переменного резистора (сопротивлением 1—50 кОм) или непосредственно уровнем постоянного напряжения 0—5,0 В. Максимальная длина линии связи 40 м.

27. Функция "Вентиляторы по необходимости"

В аппарате для охлаждения термонапряженных элементов

предусмотрены два вентилятора, один из которых включается при нагреве радиатора транзисторов до 45 °С, а выключается при 35 °С. Второй вентилятор работает по аналогичному алгоритму для охлаждения силового трансформатора, чем обеспечивается минимум загрязнений внутри источника и простое обслуживание.

28. Функция запоминания и индикации текущего режима сварки

По окончании сварки при нажатии на регулятор сварочного тока высвечивается усредненные значения тока и напряжения дуги, измеренные не позднее, чем за 4 с до прерывания процесса сварки.

29. Функция включения или выключения аппарата

Осуществляется с помощью тумблера на лицевой панели без отключения входного сетевого автомата.

30. Работа от автономных передвижных источников электропитания

Аппараты допускают возможность работы от автономных генераторов мощностью не менее 30 кВ · А со стабилизацией выходного напряжения.

31. Коррекция заводских настроек дополнительных параметров аппаратов базовой модификации

Значения параметров дополнительных функций можно изменить, если базовую панель заменить на расширенную. Новые настройки сохраняются в ячейке памяти для выбранного режима работы (MMA, TIG, MIG/MAG).

Процесс модернизации, направленный на обновление и расширение товарного ассортимента сварочного оборудования "Форсаж" в соответствии с требованиями современного рынка, продолжается. Своими достижениями предприятие во многом обязано тесным контактам с главными сварщиками различных предприятий, торговыми фирмами, работающими в сфере сварочного оборудования. Мы выражаем свою благодарность всем нашим партнерам за участие в процессе создания конкурентоспособных российских сварочных аппаратов. Лучшая оценка высоких потребительских характеристик сварочного оборудования "Форсаж" Государственного Рязанского приборного завода — его растущая востребованность в России и странах СНГ, расширяющаяся дилерская сеть и сеть центров сервисного обслуживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Сварочный аппарат инверторного типа "Форсаж-200" / А. П. Бирюков, А. А. Голованчиков, П. В. Ковергин, С. В. Никитин // *Сварочное производство*. 2010. № 2. С. 40—42.

Новая серия промышленных сварочных аппаратов "Форсаж" / А. И. Бардин, А. В. Романов, А. В. Джаникян и др. // *Сварочное производство*. 2011. № 2. С. 24—28.

Инверторный сварочный аппарат "Форсаж-161" — новое слово в сварке / С. В. Никитин, А. И. Бардин, А. П. Бирюков и др. // *Сварочное производство*. 2011. № 5. С. 41—43.

Однофазный сварочный инвертор "Форсаж-200М" / А. И. Бардин, С. В. Никитин, А. В. Романов и др. // *Сварочное производство*. 2011. № 9. С. 38—41.