



## О СВАРОЧНЫХ СВОЙСТВАХ ТИРИСТОРНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Н. И. ПОСТОЛАТИЙ, А. Д. ГЛУЩЕНКО, С. В. ДУХ, Л. С. ГРИЦЕНКО, инженеры  
(Каховский завод электросварочного оборудования)

Рассмотрены особенности формирования внешних статических и внешних динамических характеристик тиристорных сварочных выпрямителей и показана возможность улучшения каплепереноса при сварке в углекислом газе.

*Ключевые слова:* дуговая сварка в углекислом газе, жесткая внешняя характеристика источника питания, перенос расплавленного металла, регулятор, закон управления, передаточная функция

С появлением инверторных сварочных выпрямителей удельные массогабаритные и энергетические показатели достигли уровня, немислимого для традиционных (диодных и тиристорных) источников. Кроме того, с повышением частотности преобразования появились возможности активного воздействия на перенос расплавленного металла вследствие практической ликвидации «звена с чистым запаздыванием» (минимум один период пульсаций, что для традиционных выпрямителей соизмеримо со временем переноса).

При несомненных достоинствах инверторных преобразователей, в комплектации всего массива оборудования для дуговой сварки в среде защитных газов продолжают доминировать тиристорные, а за ними — диодные (ступенчато-переключаемые) сварочные источники питания [1]. Простота, стоимость, надежность, ремонтпригодность при сварочных свойствах, достаточных для конкретной технологии, будут и впредь определяющими факторами при выборе источника. Однако вследствие повышения требований к качеству сварных соединений и производительности оборудования возрастают требования к сварочным источникам питания со стороны производства. Если в отношении массогабаритных и энергетических характеристик традиционных источников невозможно ожидать значительного прорыва, то в отношении сварочных свойств резервы еще не исчерпаны.

Одним из определяющих факторов формирования шва, как известно, является характер переноса капель [2, 3], определяемый в значительной мере динамическими свойствами источника питания. Электродинамика тиристорных выпрямителей в определенной мере зависит, но не исчерпывается  $R-L$  параметрами трансформатора и дросселя. До настоящего времени главный упор возлагался на дроссель. Основным методом изменения его индуктивности было переключение количества витков. В схеме управления содержится еще и динамика управления углом проводимости тиристорной группы. Характерной особенностью универсальных источ-

ников питания (ВДУ-505, ВДУ-506, ВДУ-506С, КИУ-301, КИУ-501) является чрезмерный для режима жестких внешних характеристик (ЖВХ) избыток амплитудного напряжения на тиристорах, вследствие чего осциллограмма выпрямленного напряжения содержит пульсации, значительно большие, чем сама постоянная составляющая. Поскольку сигнал выходного напряжения ( $U_{\text{вых}}$ ) служит в качестве отрицательной обратной связи (ООС) по регулируемому параметру, приходится такой сигнал пропускать через звенья с передаточной функцией вида:

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1},$$

где  $W(p)$  — передаточная функция звена;  $k$  — коэффициент усиления;  $T$  — постоянная времени звена;  $p$  — обозначение операции дифференцирования по времени.

В исходной схеме управления источника КИУ-501 в тракте отрицательной обратной связи по  $U_{\text{вых}}$  содержалось два подобных звена  $A1$  и  $A2$  (рис. 1). Схема на рис. 1 является структурой простейшего пропорционального регулятора напряжения ( $P$ ), типичной для всех известных тиристорных сварочных источников. Небольшая обратная связь по току  $I_{\text{св}}$  (звенья  $A3$ ,  $A4$ ) служит для формирования требуемой крутизны статической внешней характеристики.

Источник питания КИУ-501 со схемой управления (рис. 1) был испытан в соответствии с требованиями ГОСТ 25616-83 [4] на сварочные свойства и получил положительное заключение. Однако испытания в реальных условиях производства вы-

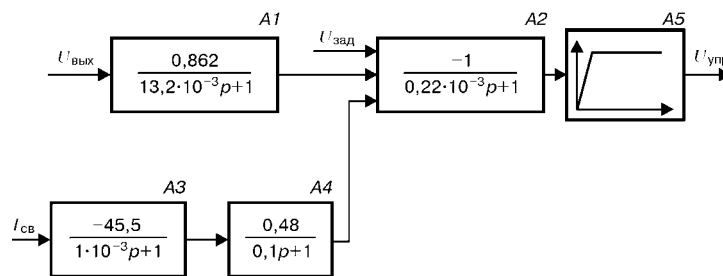


Рис. 1. Структурная схема (первоначальная) формирования управляющего напряжения  $U_{\text{упр}}$  по углу проводимости тиристорной группы:  $U_{\text{вых}}$  — выходное напряжение выпрямителя;  $U_{\text{зад}}$  — напряжение задатчика;  $I_{\text{св}}$  — напряжение на измерительном шунте (сигнал сварочного тока);  $A1$  —  $RC$ -фильтр;  $A2$  — суммирующий операционный усилитель;  $A3$  — масштабный преобразователь;  $A4$  —  $RC$ -фильтр;  $A5$  — ограничитель

явили на малых токах ряд недостатков: неуверенное возбуждение дуги; беспокойная дуга, повышенное разбрызгивание; неудовлетворительное формирование наплавленного металла; малый запас устойчивости по напряжению (небольшие отклонения задатчика от оптимального положения приводят к заметному ухудшению процесса, особенно при сварке на «вертикали»).

Многочисленные эксперименты по улучшению сварочных свойств выпрямителя ограничивали подбором параметров дросселя и коэффициентов в звеньях структуры по рис. 1. При этом подразумевалось (как аксиома), что достаточно добиться хорошей сварки на малых токах, чтобы получить отличный источник на всем диапазоне токов. Хорошие сварочные свойства на малых токах (70... 250 А) были получены лишь после того, как наряду с подбором временных порций регулятора, в тракте ООС по напряжению звено *A1* структурно изменилось:

$$W(p) = \left( 0,505 + \frac{0,375}{35 \cdot 10^{-3} p + 1} \right)$$

Инерционность звена *A2* увеличена на полтора порядка ( $T_2 = 6,8 \cdot 10^{-3}$  с), что снизило «мелкокапельные» флюктуации  $U_{упр}$  и привело к «спокойной» дуге. При этом, значительная доля сигнала ООС по регулируемому параметру поступает на сравнение без динамических искажений. Такая структура обеспечивает высококачественный процесс сварки на токах до 250 А. Однако сварка в диапазоне токов 250... 350 А оставалась неудовлетворительной как по формированию шва, так и по разбрызгиванию, что можно объяснить положительной обратной связью по току. На токах более 350 А процесс протекает вполне удовлетворительно.

Наиболее кардинальной мерой по улучшению сварочных свойств считается ограничение скорости нарастания тока в капле [4]. С этой целью рекомендуется, в частности, увеличить индуктивность дросселя до 1,0... 1,4 мГн [3]. Эксперименты с КИУ-501 в этом направлении к значительным улучшениям не привели.

Если в закон управления углом проводимости тиристорной группы ввести производную от сварочного тока  $di/dt$  (*D*-компонента), то реакция реального дифференцирующего звена

$$W(p) = \frac{kp}{Tp + 1}$$

на ступенчатое воздействие начинается мгновенно.

Практика применения компоненты  $di/dt$  в схеме управления выпрямителя КИУ-501 подтвердило эту возможность (рис. 2). В режиме ЖВХ регулятор угла проводимости тиристорной группы работает на линейном участке ограничителя *A5*, ко-

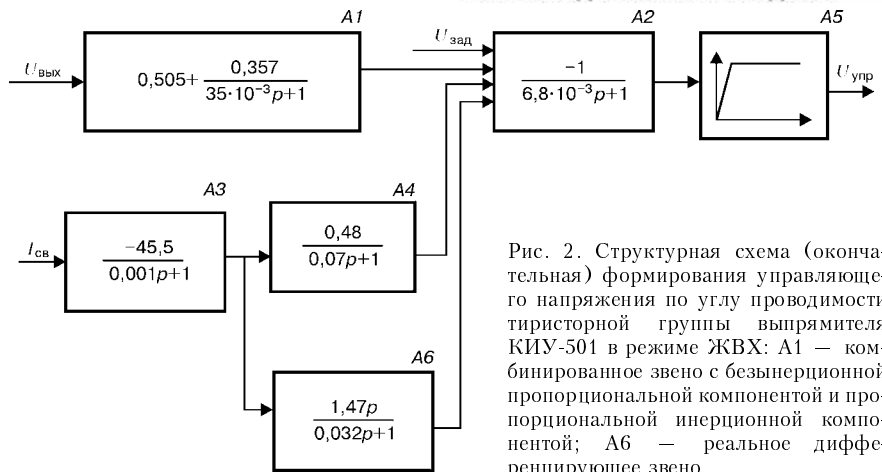


Рис. 2. Структурная схема (окончательная) формирования управляющего напряжения по углу проводимости тиристорной группы выпрямителя КИУ-501 в режиме ЖВХ: *A1* — комбинированное звено с безынерционной пропорциональной компонентой и пропорциональной инерционной компонентой; *A6* — реальное дифференцирующее звено

торый, в отличие от режима падающих внешних характеристик (ПВХ), на статику и динамику выпрямителя не влияет. После введения *D*-компоненты в закон управления источником характер горения дуги изменился коренным образом:

отсутствует характерный треск, сопровождающий разрушение капли, преобладает мягкий шорох;

визуально дуга спокойная, искрение редкое, мелкое и вялое;

процесс не критичен к отклонениям напряжения, значительно превосходящим поля допусков по ГОСТ 25616–83;

наплавленный металл на самых неблагоприятных режимах, в отличие от прежнего, характерен мелкой чешуйчатостью поверхности и ровной кромкой (отсутствие подрезов);

разбрызгивание сведено к минимуму на всем диапазоне сварочных токов.

Потери металла на самых неблагоприятных режимах сокращаются (рис. 3). При этом потери металла при сварке с использованием источника КИУ-50 с *D*-компонентой в законе управления (кривая 2) ниже, чем при сварке с источником с традиционной схемой управления (кривая 1, [2]).

Структура схемы управления источника КИУ-501 в режиме ПВХ (рис. 4) не содержит звена *A1* ООС по напряжению и отличается более глубокой ООС по току (звено *A4*). Сигнал задатчика  $I_{зад}$  — аналог заданного тока.

Заметного влияния *D*-компоненты (звено *A6*) на сварочные свойства источника в режиме ПВХ не отмечено, что можно объяснить относительно слабым ее влиянием при небольших пульсациях тока. Влияние звена *A6* проявилось лишь на ста-

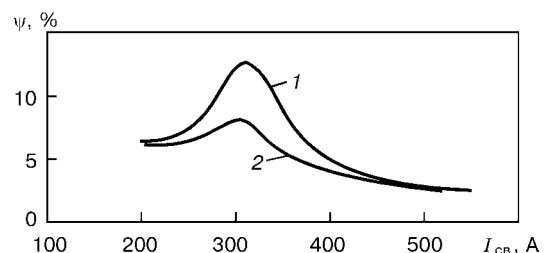


Рис. 3. Зависимость потерь металла от тока при сварке на ЖВХ (сварочная проволока Св-08Г2С  $d = 1,6$  мм, защита — углекислый газ; обозначения кривых 1, 2 см. в тексте)

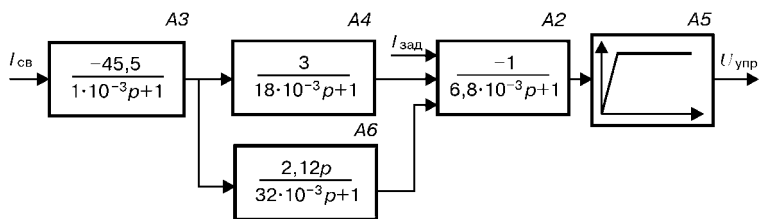


Рис. 4. Структурная схема формирования управляющего напряжения в режиме ПВХ

тических внешних характеристиках при больших токах нагрузки в сторону увеличения крутизны на падающем участке. Это можно объяснить пульсирующим характером нагрузки и наличием нелинейных цепей в схеме. В случае использования малых токов наклон не изменился. Как известно, крутая характеристика на ПВХ способствует стабильности процесса.

Следует отметить, что источники КИУ-501 и КИУ-301 полностью являются схмотехническими аналогами. Последний из перечисленных источников отличается лишь коэффициентом масштабного преобразования ( $K_i = -65$ ) сигнала сварочного

тока в звене А3. Электронные платы управления унифицированы.

Конструкция источников позволяет применять их в комплектации с полуавтоматами (автоматами), содержащими привод, питающийся от напряжения в диапазоне 3...36 В, либо 24...27 В, либо 48 В.

Применение *D*-компоненты в законе управления источников питания позволяет получить оптимальные рабочие параметры, обеспечивающие хороший внешний вид сварного шва и стабильность процесса.

Источники питания с *D*-компонентой в законе управления выпускаются Каховским заводом ЭСО с января 2002 г.

1. Заруба И. И., Латанский В. П., Сидоренко В. М. Новый вид сварочного выпрямителя // Автомат. сварка. — 1995. — № 5. — С. 53–57.
2. Потаповский А. Г. Сварка в углекислом газе. — Л.: Машиностроение, 1984. — 81 с.
3. Воронай Н. М. Методы устранения разбрызгивания металла при сварке в  $CO_2$  // Сварщик. — 1998. — № 2. — С. 7.
4. ГОСТ 25616-83. Источники питания для дуговой сварки. Методы испытания сварочных свойств.

Peculiarities of formation of external static and dynamic characteristics of thyristor welding rectifiers are considered and feasibility of improvement of drop transfer in  $CO_2$  welding is shown.

Поступила в редакцию 11.09.2002

### Представляем внешний вид и технические характеристики тиристорных выпрямителей КИУ-301 и КИУ-501

#### Технические характеристики КИУ-501

Номинальное напряжение питающей сети, В	..... 380
Номинальный сварочный ток, А	..... 500
Пределы регулирования сварочного тока, А	
падающая	..... 50... 500
жесткая	..... 60... 500
Номинальный режим работы ПВ, %	..... 60
Потребляемая мощность, кВА, не более	..... 40
Пределы регулирования рабочего напряжения, В	
падающая	..... 22... 46
жесткая	..... 18... 50
Напряжение холостого хода, В, не более	..... 85
Диаметр электродов, мм	..... 2... 6
Масса, кг	..... 260
Габаритные размеры, мм	..... 790×600×860



КИУ-501

#### Технические характеристики КИУ-301

Номинальное напряжение питающей сети, В	..... 380
Номинальный сварочный ток, А	..... 315
Пределы регулирования сварочного тока, А	
падающая	..... 50... 315
жесткая	..... 60... 315
Номинальный режим работы ПВ, %	..... 60
Потребляемая мощность, кВА, не более	..... 24
Пределы регулирования рабочего напряжения, В	
падающая	..... 22... 32
жесткая	..... 18... 38
Напряжение холостого хода, В, не более	..... 72
Диаметр электродов, мм	..... 2... 6
Масса, кг	..... 190
Габаритные размеры, мм	..... 720×530×770



КИУ-301