

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СВАРКИ

В.И. Бойко, В.В. Перемитько, Е.А.Чередник, Ю.И. Рейдерман, Д.Г. Носов, Р.И. Клочко,
 Днепродзержинский государственный технический университет,
 г. Днепродзержинск

В статье проанализирована и преобразована система саморегулирования процесса сварки для определения передаточной функции между возмущением по длине дуги и током дуги. Приведены принципиальные схемы преобразования системы АРДС.

Саморегулирование дуги [1, 2] – свойство, присущее ей без специальных внешних регуляторов восстанавливать устойчивое энергетическое состояние после нарушения равновесия в системе “источник питания-дуга-шов” под действием какого-либо возмущения. Большое значение имеет не только определение этих изменений во времени, но и их отклонение.

Анализ системы АРДС производят по структурной схеме процесса саморегулирования (рис. 1) [3].

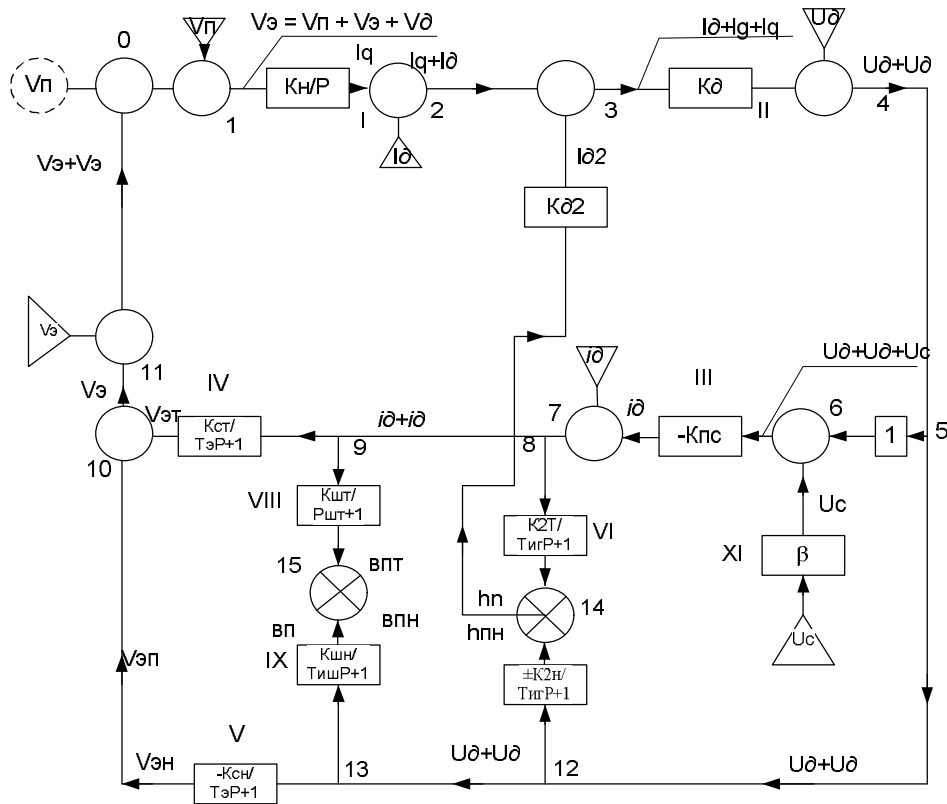


Рисунок 1 – Структурная схема процесса саморегулирования дуги

Структурная схема представляет собой графическое математическое описание взаимосвязанных величин, характеризующих работу системы в переходном и установившемся режимах.

Структурная схема составлена при следующих допущениях:

1. Источник питания является безинерционным и имеет падающую внешнюю характеристику.

2. Плотность тока на электроде нормальная.

3. Динамическое сопротивление дуги равно нулю.

4. Перенос металла в дуге – мелкокапельный.

Математическая зависимость между операторными изображениями выходной и входной величин представляет собой операторное уравнение звена [4, 5]. Отношение операторного изображения выходной величины к операторному изображению входной называется передаточной функцией звена.

Звено XI отображает возмущение со стороны напряжения сети U_c в виде его эквивалента со стороны напряжения дуги U'_c .

Цепь 0-1-2-3-4-5 является цепью объекта регулирования, она отображает преобразование результирующей скорости конца электрода в напряжение дуги.

Цепь 5-6-7-8-9-10 также принадлежит объекту регулирования и отображает процесс изменения скорости плавления электрода и тока дуги, вызываемого изменением напряжения дуги.

Цепи 8-14-3 и 12-14-3 отображают отклонения, связанные с изменением глубины провара. Цепи 9-15 и 13-15 описывают влияние тока и напряжения на ширину провара.

Звенья VIII и IX на процесс саморегулирования не влияют. Контур I и II отличаются от III и IV наличием интегрирующего звена I, что указывает на закон регулирования скорости плавления электрода [6]. Обработка возмущений по скорости проходит полностью, без остатка. Оценку влияния возмущений на исследуемую величину производят по передаточной функции, составленной между точкой приложения этого возмущения и рассматриваемой величиной [7].

Исследуемой величиной в данном анализе является ток, глубина и ширина шва. Для определения передаточной функции между током и длиной дуги исходную структурную схему преобразуем таким образом, чтобы ее входной величиной была длина дуги, а выходной – ток дуги. Затем, используя правила преобразования структурных схем, определим исходную передаточную функцию. Систематическую ошибку процесса определим по статическому коэффициенту усиления, который определяется значением эквивалентной передаточной функции в установившемся процессе, т. е. при $P = 0$.

Для определения передаточной функции между возмущением по длине дуги и током дуги и с целью упрощения расчетов произведем следующие преобразования структурной схемы:

1. Исключим из рассмотрения все возмущения, кроме возмущения по длине дуги.

2. Звенья VIII и IX, не оказывающие влияния на процесс саморегулирования, также исключаются.

3. Звено X исключается, т. к. коэффициент близок к единице, а инерционность равна φ .

4. Цепи 8-14-3 и 12-14-3 разделяем и переносим их воздействие из точки 3 в точки 3' и 3''. В результате получим новые эквивалентные цепи 8-6-7-3' и 12-7-8-3''.

Преобразованная структурная схема представлена на рисунке 2.

Звенья XII и XIII представляют собой полубесконечные дифференциальные звенья, образующиеся в результате переноса точки воздействия на длину дуги (точка 3) в точки воздействия на ее

производные $V_{эТ}$ и $V_{эН}$ ($3'$ и $3''$). Звенья I, II, VI, XII, VII, XIII соединены последовательно. Их передаточные функции соответственно равны произведению передаточных функций

$$W_{I,II} = K_{\partial} \cdot K_{пс},$$

$$W_{VI-XII} = \left(\frac{K_{cm}}{T_{u2}P + 1} \right) \cdot \frac{P}{K_u}; \frac{K2T}{T_{u2}P + 1} \cdot \frac{P}{K_n},$$

$$W_{VII,XIII} = \left(\frac{K_{2n}}{T_{u2}P + 1} \right) \cdot \frac{P}{K_u}.$$

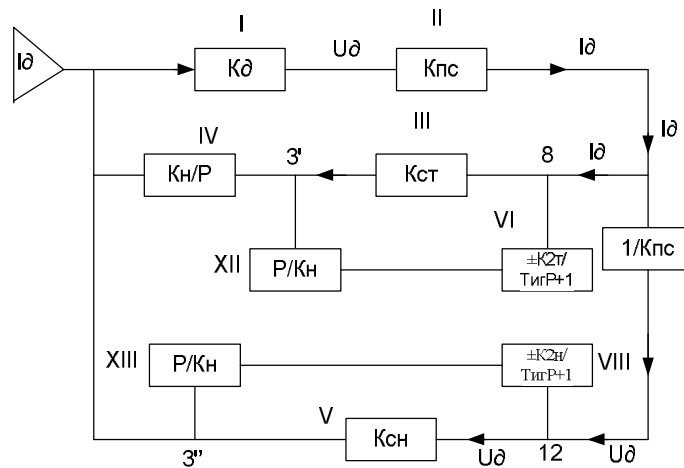


Рисунок 2 – Структурная схема саморегулирования дуги после преобразования

Преобразованная схема представлена на рисунке 3.

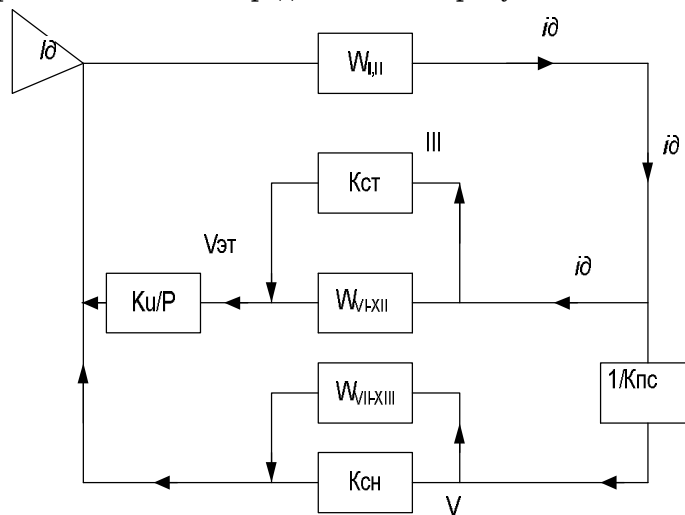


Рисунок 3 – Структурная схема саморегулирования дуги после второго преобразования

Звенья III и $W_{VI, XII}$ соединены согласно параллельно, поэтому передаточная функция звена $W_{VI, XII}$ равна сумме передаточных функций звеньев III и $W_{VI, XII}$:

$$W_{III-XII} = \frac{K_{cm} \cdot P}{T_{uz}P + 1 \cdot K_u} + K_{cm}.$$

Аналогично определим передаточную функцию W_{V-XIII} :

$$W_{V-XIII} = \frac{K_{cm} \cdot P}{T_{uz}P + 1 \cdot K_u} + K_{cm}.$$

После преобразований схема будет иметь вид рис. 4:

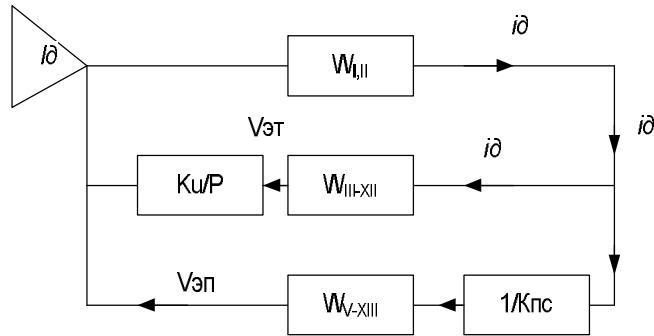


Рисунок 4 – Структурная схема саморегулирования дуги после третьего преобразования

В этой схеме звенья VI и VIII, XII соединены последовательно, их передаточная функция равна их произведению:

$$W_{III-IV} = \left[\frac{K_{cm} \cdot P}{(T_{uz}P + 1) \cdot K_u} + K_{cm} \right] \cdot \frac{K_u}{P}.$$

Преобразованная схема саморегулирования представлена на рис. 5.

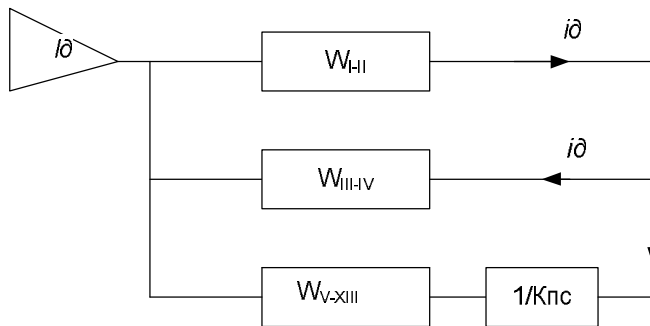


Рисунок 5 – Структурная схема саморегулирования дуги после пятого преобразования

Звенья $W_{V, XIII}$ и $W_{III, IV}$ соединены согласно параллельно. Передаточная функция равна сумме их передаточных функций:

$$W_{III-XIII} = W_{III-IV} + W_{V-VIII} = \left[\frac{K_{2m} \cdot P}{(Tu_2P + 1) K_u} + K_{cm} \right] \frac{K_u}{P} + \left[\frac{K_{2n} \cdot P}{(Tu_2P + 1) K_u} + K_{cn} \right] \cdot \frac{1}{K_{cn}}.$$

Получим итоговую схему преобразования (рис. 6).

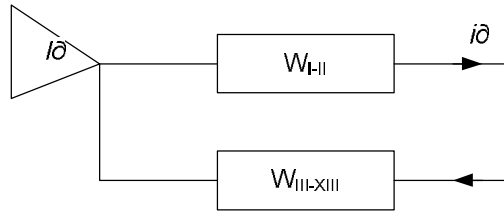


Рисунок 6 – Структурная схема саморегулирования дуги после шестого преобразования

Звено W_{I-II} охвачено обратной связью $W_{III-XIII}$. Передаточная функция замкнутой системы определяется формулой

$$W_{e\partial} \cdot i_{\partial} = \frac{W_{I-II}}{1 - W_{I-II} \cdot W_{III-XIII}},$$

$$W_{I-I} = K_{\partial} \cdot K_{nc}.$$

Преобразуем $W_{III-XIII}$:

$$\begin{aligned} & \frac{K_u + K_{2m} \cdot P + K_u \cdot K_{cm} (Tu_2P + 1)}{P(Tu_2P + 1)} + \frac{K_{2n} \cdot P + K_{cn} \cdot K_u (Tu_2P + 1)}{(Tu_2P + 1) \cdot K_{cn}} = \\ & = \frac{K_u \cdot K_{nc} \cdot K_{2m} \cdot P + K_u^2 \cdot K_{nc} \cdot K_{cm} (Tu_2P + 1) + P^2 \cdot K_{2n} + P \cdot K_{cn} \cdot K_u (Tu_2P + 1)}{P \cdot K_u \cdot K_{nc} (Tu_2P + 1)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{e\partial} i_{\partial} &= \frac{K_{\partial} \cdot K_{nc}}{K_u \cdot K_{nc} \cdot K_{2m} \cdot P + K_u^2 \cdot K_{nc} \cdot K_{cm} (Tu_2P + 1) +} \\ & \frac{1 - K_{\partial} \cdot K_{nc} \cdot \frac{P^2 \cdot K_{2m} + P \cdot K_{cm} \cdot K_u (Tu_2P + 1)}{P \cdot K_u \cdot K_{nc} (Tu_2P + 1)}}{K_{\partial} \cdot K_{nc}^2 \cdot P \cdot K_u (Tu_2P + 1)}; \\ & = \frac{K_{\partial} \cdot K_{nc}^2 \cdot P \cdot K_u (Tu_2P + 1)}{P \cdot K_u \cdot K_{nc} (Tu_2P + 1) - K_{\partial} \cdot K_{nc} \left[\frac{K_u \cdot K_{nc} \cdot K_{2m} \cdot P + K_u^2 \cdot K_{nc} \cdot K_{cm} (Tu_2P + 1) +}{P^2 \cdot K_{2n} + P \cdot K_{cn} \cdot K_u (Tu_2P + 1)} \right]}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{e\partial} i_{\partial} &= \frac{17 \cdot 625 \cdot P(P + 1)}{P(-25)(P + 1) - 17(-25) \left[\frac{-25 \cdot 0,0018 \cdot P + (-25) \cdot 0,0032(P + 1) +}{P^2(0,0029) + P(-0,0061)(P + 1)} \right]} = \\ & = \frac{10615P(P + 1)}{-25P^2 - 25P - 19,125P - 34P - 1,23P^2 - 2,593P^2 - 2,543P} = \frac{-10615P(P + 1)}{28,8P^2 + 80,7P + 34}. \end{aligned}$$

Корни характеристического уравнения:

$$P_1 = \frac{-80,728 + 50,941}{57,64} = -0,531,$$

$$P_2 = \frac{-80,728 - 50,941}{57,64} = -2,284.$$

Статистический коэффициент усиления определим, подставляя в передаточную функцию $W_{ед} i_d$ значение $P = 0$:

$$K_{ед} i_d = 0, \quad \Delta i_d = K_{ед} i_d, \quad \Delta l_d = 0;$$

$$\Delta i_{\partial}(t) = \frac{F_1(0)}{F_2(0)} + \frac{F_1(P_1)}{P_1 F_1'(P_1)} l^{P_1 t} + \frac{F_1(P_2)}{P_2 F_2'(P_2)} l^{P_2 t};$$

$$F_1(P_1) = -10615(-0,531)(-0,531+1) = 2444;$$

$$P_1 F_1(P_1) = (-0,531) [2(-0,531)(28,82)] + 80,728 = -27;$$

$$F_2(P_2) = -10615(-2,284)(-2,284+1) = -30129,296;$$

$$P_2 F_2(P_2) = (-2,284)[2(-2,284)(28,82)] + 80,728 = 118,22;$$

$$\Delta i_{\partial}(t) = \frac{-2444}{27} l^{-0,531t} - \frac{30129,3}{118,22} l^{-2,284t};$$

$$\Delta i_{\partial}(t) = -90 l^{-0,531t} - 255 l^{-2,284t};$$

$$\Delta i_{\partial}(t) = -9 l^{-0,531t} - 2.55 l^{-2,284t}.$$

ВЫВОДЫ

Условие статического равновесия системы, т.е. условие постоянства l_d будет выполняться при условии равенства $V_{\partial} = V_{п}$.

При случайном увеличении l_d меняется режим, т.е. l_d уменьшается, а V_d увеличивается, при этом $V_{\partial} < V_{п}$ и точки электрода получают результирующую скорость, направленную вниз. При этом l_d будет уменьшаться до тех пор, пока не установится заданный режим (рис. 7), т.е. пока система не вернется в исходное состояние и наоборот: при уменьшении l_d увеличивается l_d , уменьшается V_d , $V_{\partial} > V_{п}$, конец электрода получает результирующую скорость, направленную вверх до тех пор, пока система не вернется в исходное положение.

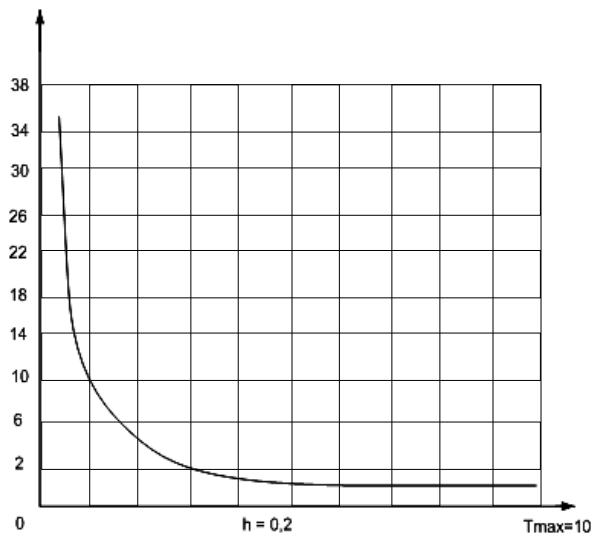


Рисунок 7 – График переходного процесса

Данная работа есть продолжением публикации в журнале «Вестник Сумского государственного университета» № 3 2009 года.

SUMMARY

The system of self-regulation of process of welding is analyzed and regenerated for determination of transmission function between indignation on length of arc and current of arc in the article. There are presented principle charts of transformation of the ACAW-system.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патон Б.Е. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки / Б.Е. Патон, В.К. Лебедев // Машиностроение. - 1966.
2. Каспраж Г.М. Структурная классификация и сравнительный анализ систем регулирования процесса дуговой сварки / Г.М. Каспраж, В.М. Щитова // Автоматическое регулирование дуговой сварки: сборник. - М.: Издательство АН СССР, 1953.
3. Повышение производительности сварки в углекислом газе / В.Т. Золотых, Ю.Г. Белоусов и др. // Сварочное производство. - 1966. - № 8.
4. Сварка углеродистых и низколегированных сталей в углекислом газе на форсированных режимах / Д.С. Кассов, Ю.И. Рейдерман и др. // ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ. Прогрессивная технология и новые материалы. - 1967. - Вып. 2.
5. Рабинович И. Я. Некоторые вопросы теории устойчивости источников питания и систем регулирования дуговой сварки / И.Я. Рабинович // Новые проблемы сварочной техники: сборник. - Киев: Изд-во "Техника", 1964.
6. Щитова В.М. Динамика процесса саморегулирования сварочной дуги с инерционными источниками питания / В.М. Щитова // Автоматическая сварка. - 1959. - №2.
7. Wienschenk Hans – Erich. Metzke Eckhard, Betrachtungen zur Wtrkstoffubertragung bei der CO₂ – Schutzgasschweibung. Ч. 1 и 2. "Schweibtechnik", № 1, 13, 1963 (нем).
8. Исследование переходных процессов автоматической сварки тонкой проволокой в среде защитных газов / В.И. Бойко, В.В. Перемитько, А.Т. Нельга, Ю.И. Рейдерман, Д.Г. Носов // Вісник СумДУ. - 2010. - №1. - 8 с.
9. Исследование переходных процессов автоматической сварки тонкой проволокой в среде защитных газов / В.И. Бойко, В.В. Перемитько, А.Т. Нельга, Ю.И. Рейдерман, Е.А. Чередник // Вестник СумГУ. Серия Технические науки. - 2009. - № 3. - С. 77-83.

Поступила в редакцию 10 февраля 2010 г.