

УДК 621. 791. 75

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОММУТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА КВАЗИУСТАНОВИВШИЙСЯ РЕЖИМ ТИРИСТОРНОГО ТОКОИСТОЧНИКА ДЛЯ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ

С.Г. Савова, главный ассистент, к.т.н., Н.А. Вылчев, главный ассистент, к.т.н.,
Технический Университет, г. Варна, Болгария

Аннотация. Резкие перемены параметров сварочной дуги управляемых источников питания ручной дуговой сварки предъявляют специфичные требования к параметрам силовых элементов и к их взаимозависимости в каждой фазе сварочного процесса. Данное исследование выполнено с помощью симуляционной модели. Внимание акцентировано на сварочном трансформаторе и его параметрах, элиминировано влияние фазосдвигающей индуктивности и системы управления.

Ключевые слова: разомкнутая система управления, динамические характеристики, коммутационный процесс.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОМУТАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА КВАЗІВСТАНОВЛЕНИЙ РЕЖИМ ТИРИСТОРНОГО ДЖЕРЕЛА СТРУМУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

С.Г. Савова, головний асистент, к.т.н., Н.А. Вилчев, головний асистент, к.т.н.,
Технічний Університет, м. Варна, Болгарія

Анотація. Різкі зміни параметрів зварювальної дуги керованих джерел живлення ручного дугового зварювання висувають специфічні вимоги до параметрів силових елементів і до їх взаємозалежності в кожній фазі зварювального процесу. Дане дослідження виконане за допомогою симуляційної моделі. Увагу акцентовано на зварювальному трансформаторі та його параметрах, еліміновано вплив фазоздвигаючої індуктивності і системи управління.

Ключеві слова: розімкнена система управління, динамічні характеристики, комутаційний процес.

INVESTIGATION OF COMMUTATION PROCESSES INFLUENCE ON THYRISTOR CURRENT SOURCE QUASISTEADY MODE FOR ELECTRIC-ARC WELDING

S. Savova, senior assistant, Candidate of Technical Science, N. Vylchev, senior assistant,
Candidate of Technical Science, Technical University, Varna, Bulgaria

Abstract. Sharp changes of welding arc parameters of controllable voltage sources of manual arc welding impose specific requirements to power element parameters and their interdependence in each phase of the welding process. The given investigation is carried out with the help of the simulation model. The welding transformer and its parameters are dealt with. The effect of the induction phase-shifting and control system is eliminated.

Key words: open circuit control system, induction phase-shifting, feeding transformer, dynamic characteristics, commutation process, commutation interval, active and reactive power.

Введение

Характерная особенность сварочного процесса ручной электродуговой сварки – это скачкообразное изменение тока, от короткого замыкания до холостого хода. При этом, ввиду ручного способа ведения сварочной дуги, процесс имеет случайный характер как по длительности, так и по частоте. В связи с этим динамическое поведение сварочного источника, т.е. его способность отработать возмущения по нагрузке за минимальное время, является определяющим фактором эффективности и качества сварочного процесса. В общем динамическое поведение источника определяется параметрами и взаимозависимостью между отдельными элементами в каждой фазе сварочного процесса. В этом смысле особое значение имеет питающий трансформатор и протекающие в нём электромагнитные процессы при наличии возмущения. Электромагнитные процессы в сварочном трансформаторе – определяющие и для потребляемой мощности, и для её потери.

Анализ публикаций

Известно, что во время коммутации, в результате одновременной работы тиристорных групп, вторичная обмотка трансформатора находится в режиме короткого замыкания, т.е. $U_{2tr}=0$ [2]. Продолжительность этого режима связана с протекающим рабочим током и параметрами питающего трансформатора. Сглаживающая индуктивность L_d не влияет на длительность коммутационного процесса, но её показатель должен быть достаточно большим, чтобы гарантировать непрерывный ток через дугу за весь рабочий диапазон [1].

Цель и постановка задачи

Объект нынешних исследований – однофазный тиристорный токоисточник ручной электродуговой сварки. Цель: проанализировать влияние параметров трансформатора на переходные процессы токоисточника во время коммутаций.

Исследования выполнены с помощью программного продукта OrCAD 9.2, и для этой цели составлена симуляционная модель [3] с параметрами, соответствующими реальному токоисточнику:

- питающее напряжение $V_1 = 380$ V;
- сторона низшего напряжения $V_2 = 80$ V;
- мощность трансформатора $S = 18$ kVA;
- напряжение короткого замыкания $U_k = 5,8$ %;
- потери короткого замыкания $\Delta P_k = 500$ W;
- товарное сопротивление $R_d = (0,1-5)$ Ом;
- сглаживающая индуктивность $L_d = 4$ мН;
- активное сопротивление постоянно-токовой диагонали тиристорного выпрямителя $R_{st} = 0,004$ Ом.

Исследования проводились в такой последовательности:

1. Сделан расчёт элементов эквивалентной схемы трансформатора при номинальном и повышенном показателе напряжения короткого замыкания (U_k);
2. Через систему управления задан произвольный угол управления (α), а с помощью резистора, который включен в товарную цепь, установлен рабочий ток (I_d);
3. Осуществлено кратковременное короткое замыкание в товарной цепи;
4. Осуществлена запись и анализ времедиagramм, которые иллюстрируют работу токоисточника в переходном режиме.

Симуляционные исследования

Принципиальная схема симуляционной модели показана на рис. 1, где:

- $R_1; R_2; R_3$ – активное сопротивление $L_1; L_2; L_3$;
- $L_1; L_2$ – индуктивность рассеивания первичной и вторичной обмотки;
- L_3 – индуктивность намагничивающего контура;
- $T_1; T_2; T_3; T_4$ – тиристоры мостового исправителя (МИ);
- T_5 – тиристор, осуществляющий короткое замыкание в токовой цепи;
- СУ – система управления;
- К – ключ, определяющий момент короткого замыкания;
- L_d – сглаживающая индуктивность;
- R_4 – стационарный товар;
- R_{st} – активное сопротивление в постоянно-токовой диагонали МИ;
- V_2 – питающее напряжение.

Внимание акцентировано на трансформаторе, который представлен эквивалентной схемой.

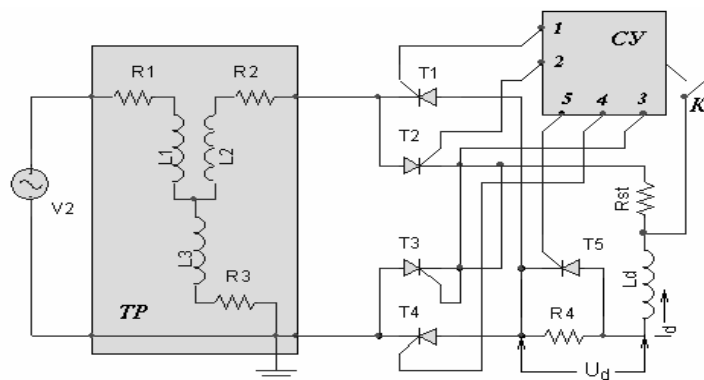
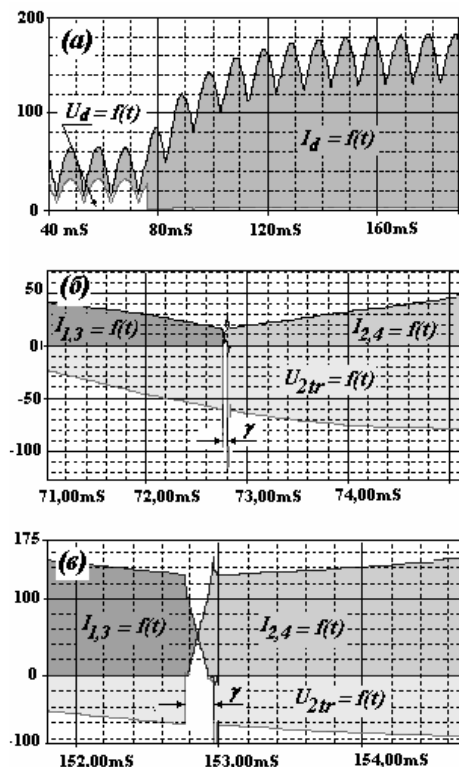
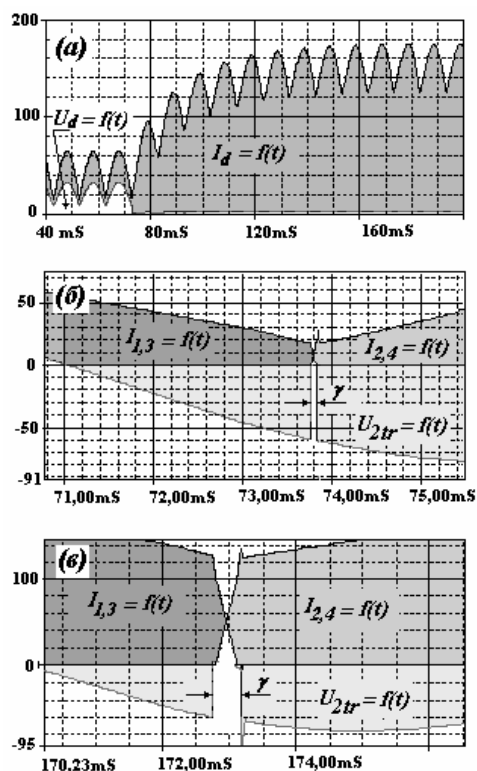


Рис.1. Симуляционная схема сварочного токоисточника

Через систему управления задан произвольный угол управления, в случае $\alpha = \pi/2$, а с помощью (R_4) установлен рабочий ток $I_d = 50$ А. Исследования проводились, когда система управления была разомкнута, чтобы избежать её влияния на коммутационные процессы. Возмущающее воздействие, как короткое замыкание, осуществляется через тиристор (T_5), который включен параллельно товару (R_4). Момент короткого замыкания избран произвольно, с помощью ключа (K). Для исследования на рис. 2 – этот момент $t = 76 \cdot 10^{-3}$ С, а для рис. 3 – этот момент $t = 73 \cdot 10^{-3}$ С.

Рис. 2. Переходный и коммутационный процесс токоисточника при $U_k = 5,8\%$ Рис. 3. Переходный и коммутационный процесс токоисточника при $U_k = 10\%$

Параметры элементов эквивалентной схемы трансформатора приведены к его вторичной стороне [2]. Для показанных номинальных данных определены показатели (величины), с помощью которых проведено первое исследование

$$- R_1 = R_2 = 0,0079 \text{ Ом}; L_1 = L_2 = 22,1 \cdot 10^{-6} \text{ Н};$$

$$- L_3 = 56,6 \cdot 10^{-3} \text{ Н}; R_3 = 2,5 \text{ Ом}.$$

Чтобы учесть возможные производственные отклонения, выполнено второе исследование. При этом заложено повышенное рассеивание $U_k = 10\%$ и определены элементы

$$R_1 = R_2 = 0,0079 \text{ Ом}; L_1 = L_2 = 50,6 \cdot 10^{-6} \text{ Н};$$

$$L_3 = 56,6 \cdot 10^{-3} \text{ Н}; R_3 = 2,5 \text{ Ом}.$$

Времедиаграммы, которые показаны на рис. 2 и 3 иллюстрируют изменения:

I_d ; U_d – тока и напряжения товара R_4 ;

$I_{1,3}$; $I_{2,4}$ – тока через тиристоры T_1 T_3 и T_2 T_4 ;

γ – коммутационного интервала.

Последние записаны при константном показателе сглаживающей индуктивности $L_d = 4 \text{ мН}$ соответственно:

(а) – $I_d = f(t)$, $U_d = f(t)$, до и после короткого замыкания;

(б) – $I_{1,3} = f(t)$, $I_{2,4} = f(t)$, ток через тиристоры T_1 T_3 и T_2 T_4 в коммутационном интервале, когда рабочий ток $I_d = 50 \text{ А}$;

(в) – $I_{1,3} = f(t)$, $I_{2,4} = f(t)$, ток через тиристоры T_1 T_3 и T_2 T_4 в коммутационном интервале.

С времедиаграмм на рис. 2, б и рис. 2, в, можно определить длительность коммутационного процесса в установившемся рабочем режиме $\gamma = 0,02 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ и в режиме короткого замыкания $\gamma = 0,23 \cdot 10^{-3} \text{ с}$.

На рис. 3 аналогичным способом показаны переходные процессы работы токоисточника при $U_k = 10 \%$, определены (рис. 3, б и в) $\gamma = 0,03 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ в установившемся рабочем режиме и $\gamma = 0,44 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ в режиме короткого замыкания. Несомненно, во втором случае увеличение продолжительности коммутационного процесса получается из-за большей индуктивности рассеивания трансформатора (L_1, L_2).

Аналогичным способом увеличиваются и потери напряжения, что ухудшает эффективность использования трансформатора по напряжению. Практически эта эффективность зависит от продолжительности коммутации, потому что во время коммутаций вторичная обмотка трансформатора находится в режиме короткого замыкания.

На рис. 4 иллюстрированы изменения моментной мощности $p(t)$ и средней активной мощности P_d в постояннотоковом контуре токоисточника, в режиме короткого замыкания, с нормальным рассеиванием трансформатора – рис. 4, а и завышены – рис. 4, б. В режиме короткого замыкания $U_d = 0$, и активная мощность сосредоточена на R_{st} .

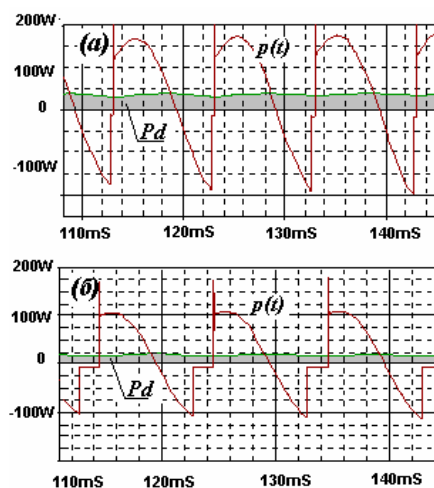


Рис. 4. Изменения моментного и среднего показателя активной мощности

Моментная мощность $p(t)$ определена зависимостью

$$p(t) = U_d(t) \cdot I_d(t), \quad (1)$$

где $U_d(t)$ и $I_d(t)$ – моментные значения выпрямленного напряжения и тока. Средняя активная мощность (P_d) определена как среднее значение за период, в соответствии с уравнением

$$P_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} p(t) dt. \quad (2)$$

Если сравнить результаты (рис. 4, а и б), то видно, что потери напряжения при повышенном рассеивании трансформатора в квазиустановившемся режиме существенно влияют на отдаваемую активную мощность (P_d). В аналогичных условиях сняты и вольт-амперные характеристики $U_2 = f(I_2)$ (рис. 5, а при номинальных и рис. 5, б при завышенных параметрах рассеивания). По показанным выше графикам можно проследить изменение реактивной мощности в зависимости от потери напряжения во время квазиустановившегося режима. Площадь, которую описывает замкнутая кривая в координатах (V-A) [1, 4], пропорциональна реактивной мощности, т.е.

$$Q = \frac{1}{2\pi} \oint U di. \quad (3)$$

Если сравнить обе площади (рис. 5, а и б), можно проследить перемену потребляемой реактивной мощности.

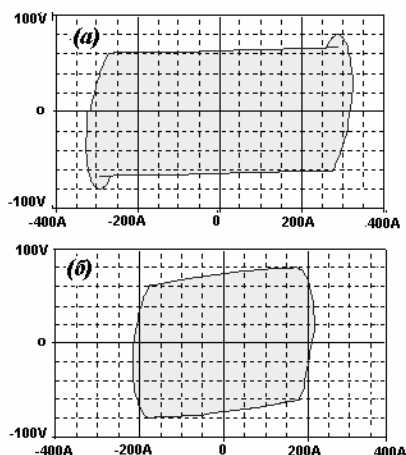


Рис. 5. Потребляемая реактивная мощность в квазиустановившемся режиме

По динамическим характеристикам можно судить о скорости, с которой токоисточник отрабатывает возмущающие воздействия в токовом контуре, т.е. в дуге, при перемене рабочего тока (I_d). На рис. 6, а, б представлены динамические характеристики токоисточника $U_i = f(I_d)$ при номинальных и завышенных параметрах (U_k).

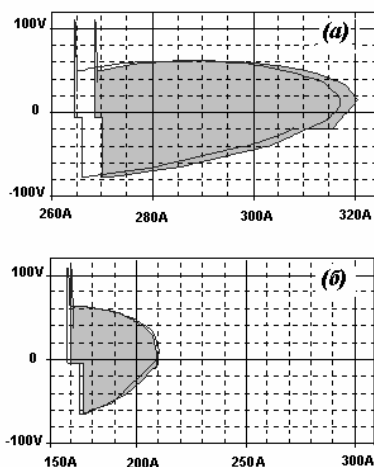


Рис. 6. Динамическая характеристика источника в квазиустановившемся режиме

Из рис. 6 видно, что динамические показатели токоисточника ухудшаются с нарастанием индуктивности рассеивания трансформатора. Из-за наличия внутреннего импеданса на трансформаторе формируется потеря напряжения, что ведет к снижению среднего показателя напряжения на клеммах преобразователя. Этот импеданс можно определить из

активных и индуктивных сопротивлений рассеивания первичной и вторичной обмоток. Учитывая эту особенность, (U_k) «напряжение короткого замыкания» трансформатора косвенно влияет на распределение энергетических потоков токоисточника. Последние формируются из активной мощности в постоянно-токовой диагонали тиристорного выпрямителя и реактивной мощности во вторичной обмотке трансформатора.

Выводы

Проведенные исследования показывают, что параметр U_k трансформатора существенно влияет на энергетические показатели токоисточника. С увеличением U_k увеличивается и продолжительность коммутационных процессов и связанные с ними потери напряжения и мощности. Параметр U_k является определяющим для динамического поведения токоисточника, а отсюда — и для качества сварочного процесса в целом. Из-за этого при управляемых сварочных токоисточниках силовые трансформаторы проектируют с минимальным рассеиванием и диапазоном отклонений U_k .

Литература

1. Macat Y. Zpetiny vliv vykonovych polovodicovych menicu na napjeci sit / Y. Macat, P. Vaculikova, O. Zaviska. — Praha: SNTL, 1978. — 130 p.
2. Руденко В.Е. Основы преобразовательной техники / В.Е. Руденко, В.И. Сенько, И.М. Чиженко. — М.: Высшая школа, 1980. — 450 с.
3. Болотовский Ю.Б. OrCAD. Моделирование / Ю.Б. Болотовский, Г.И. Таназлы. — Солон-Пресс, 2005. — 200 с.
4. Маевский О. А. Энергетические показатели вентильных преобразователей / О.А. Маевский. — М.: Энергия, 1978. — 120 с.

Рецензент: И.П. Гладкий, профессор, к.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 23 мая 2011 г.