

## ВЛИЯНИЕ СВАРОЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ НА ТРЕХФАЗНУЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ СЕТЬ

С. В. РЫМАР, д-р техн. наук, А. М. ЖЕРНОСЕКОВ, канд. техн. наук, В. Н. СИДОРЦ, д-р техн. наук  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследован гармонический состав трехфазной электрической сети при работе сварочных источников питания. Показано, что сварочные источники питания генерируют в сеть высшие гармоники тока, ухудшая качество электроэнергии. Рекомендовано применение фильтров высших гармоник для уменьшения влияния сварочных источников питания на электрическую сеть.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, источники питания, трехфазная электрическая сеть, качество электроэнергии, высшие гармоники, фильтры

На рубеже 1980–1990-х годов развитые страны мира столкнулись с проблемой нарастающего ухудшения качества электроэнергии электрических сетей, заключающегося в искажении синусоидальной формы напряжения и тока сети, что сказалось на повышении потерь и понижении надежности эксплуатации электрооборудования. К этому привело постоянное увеличение потребления электроэнергии оборудованием с нелинейными нагрузками, такими как выпрямители, инверторы, частотно-управляемые электроприводы, компьютеры, офисная техника и другое оборудование. Нелинейные нагрузки генерируют в электрическую сеть высшие гармоники тока, которые увеличивают потери в сетевых проводах, оборудовании и нагрузках, а также ухудшают электромагнитную совместимость [1–4], т. е. могут приводить к выходу из строя электрического и электронного оборудования, перегреву роторов и ускоренному износу подшипников электродвигателей и генераторов, выходу из строя систем управления электроприводов и взрывам в них электролитических конденсаторов, ненадежной работе микропроцессорной и вычислительной техники, ложным срабатываниям систем защиты по отключению электрооборудования, подгоранию нулевых проводов, быстрому старению изоляции, коррозии элементов заземлений, перегоранию электроосветительных приборов и т. п.

Трехфазные выпрямители с конденсаторами и различные типы инверторов генерируют мощные нечетные гармоники тока, в частности 5- и 7-ю, достигающие 70...80 % амплитуды основной гармоники [1]. Это доводит значение коэффициента нелинейных искажений (гармоник) тока  $THD_I$  (Total Harmonic Current Distortion) до 80...90 % [2–4], а в ряде случаев и значительно выше. В

стандартах IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) [5] приемлемыми уровнями  $THD_I$  считаются:  $THD_I \leq 5\%$  для  $k_{jk} \leq 20$ ,  $THD_I \leq 8\%$  для  $20 < k_{jk} \leq 50$ , для сетей напряжением от 0,12 до 69 кВ в зависимости отпускной мощности сети и тока короткого замыкания, где  $k_{jk}$  — коэффициент кратности тока короткого замыкания, равный отношению тока короткого замыкания к номинальному току. Приемлемыми значениями коэффициента нелинейных искажений напряжения  $THD_U$  (Total Harmonic Voltage Distortion) считаются значения до 3 % для индивидуальных нелинейных нагрузок, а для совокупных нагрузок сети допустимое значение равно 5 % [5]. Отечественные нормативные документы [6] допускают значение  $THD_U = 8\%$ , при котором уже существенно ухудшается качество сети.

Бороться с этим нежелательным явлением можно несколькими способами, например, повышением мощности электрических сетей, за счет ввода в эксплуатацию новых электростанций и энергоблоков или с помощью фильтров высших гармоник тока. Применение фильтров представляется более экономичным и перспективным.

В Северной Америке с 1992 г. действует IEEE Standard 519-1992 [5], обязывающий потребителей электроэнергии принимать меры к подавлению высших гармоник тока. В странах Евросоюза в течение последних лет также внедрены международные стандарты EN 61000-2-2, -3-2, -6-3, -6-4, в которых регламентированы предельные уровни генерации высших гармоник тока для различного электрооборудования. В Украине и странах СНГ ведутся работы по принятию подобных стандартов.

Оборудование для различных технологий сварки и родственных процессов, где массово применяется электрическая дуга, является нелинейной нагрузкой. Сварочные выпрямители и инверторы, тиристорные источники питания электропечей и электролизеров и другое сварочное оборудование также являются мощными генератора-



ми высших гармоник тока. Однако традиционно сложилось так, что в сварочном производстве мало обращают внимание на эти проблемы, хотя при изготовлении ответственных сварных конструкций выдвигались требования работы только одного источника питания, чтобы исключить взаимное влияние источников питания друг на друга.

В связи с этим можно сделать вывод об актуальности проблемы высших гармоник для сварочного производства, особенно, когда рассматривается вопрос о продвижении отечественных сварочных технологий в развитые страны, что подтверждается опытом китайских специалистов [7].

Целью данной статьи является оценка влияния на трехфазную электрическую сеть сварочных источников питания, работающих в штатном технологическом режиме, а также выработка рекомендаций по уменьшению генерируемых ими высших гармоник тока.

Для этого был протестирован ряд сварочных источников питания. В настоящей статье приведены и проанализированы данные по четырем типичным для сварочных и родственных процессов источникам питания:

— трехфазный сварочный выпрямитель ВДУ-305 с тиристорным регулированием, который серийно выпускается промышленностью и предназначен для ручной дуговой сварки штучными покрытыми электродами и для дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов выпрямленным током до 300 А;

— трехфазный тиристорный импульсный источник питания И-169, разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона и предназначенный для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов;

— универсальный трехфазный транзисторный инверторный источник питания Trans Puls Synergic TPS 5000, промышленно выпускаемый австрийской фирмой «Fronius» и предназначенный для ручной, автоматической и механизированной, а также импульсно-дуговой сварки в среде защитных газов;

— однофазная установка электрошлакового переплава (УЭШП) металлов под флюсом [8], построенная на базе установки Р-951, разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона и предназначенная для переплава меди, никеля, титана, вольфрама и высоколегированной стали.

В качестве основного измерительного прибора использовали анализатор качества электрической сети (одной фазы) Chauvin Arnoux С.А. 8230 (Франция). Это универсальный прибор, который позволяет получать не только временные зависимости тока и напряжения с их характерными значениями (максимальное и минимальное значение, полная, активная и реактивная мощность и т. п.), но и спектры гармоник до максимального

номера гармоники  $h_{\max} = 50$ . Анализатор имеет функцию записи и связь с компьютером для дальнейшей математической обработки данных.

Полученные экспериментальные данные используют при составлении технического задания в случае проектирования фильтров высших гармоник, поскольку с помощью фильтров могут быть подавлены высшие гармоники тока и уменьшено влияние сварочных источников питания на электрическую сеть. Кроме экспериментальных данных, при выработке рекомендаций по уменьшению уровня высших гармоник использовали и расчетные данные. Среди них были следующие.

Коэффициенты нелинейных искажений тока  $THD_I$  и напряжения  $THD_U$  [4]:

$$THD_I = \sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} I_{h\%}^2}; \quad THD_U = \sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} U_{h\%}^2},$$

где  $h$  — номер гармоники;  $I_{h\%}$ ,  $U_{h\%}$  — значения тока и напряжения в процентах от действующего значения тока и напряжения 1-й основной гармоники, принятой за 100 %:  $I_{h\%} = I_h/I_1$ ,  $U_{h\%} = U_h/U_1$ .

Еще одним важным параметром, определяющим во сколько раз увеличатся добавочные потери в электрическом оборудовании и проводниках электрических сетей по сравнению с тем, если бы в оборудовании и сетях протекала только 1-я основная гармоника тока, является  $K$ -фактор, определяемый по формуле

$$K = \frac{\sum_{h=1}^{h_{\max}} (hI_{h\%})^2}{\sum_{h=1}^{h_{\max}} I_{h\%}^2}.$$

Добавочные потери вызываются вихревыми токами, протекающими в токоведущих частях и проводниках оборудования и электрических сетей. Сами вихревые токи обусловлены магнитными потоками рассеяния, проходящими через токоведущие части и проводники [9].

Полученные экспериментальные и расчетные данные сведены в таблицу, где приведены следующие обозначения:  $I$ ,  $U$  — действующие значения тока и напряжения;  $k_{m,I}$ ,  $k_{m,U}$  — коэффициенты амплитуды тока и напряжения, равные отношению амплитудных значений к действующим значениям  $k_{m,I} = I_m/I$ ,  $k_{m,U} = U_m/U$ ;  $S$ ,  $P$ ,  $Q$  — соответственно полная, активная и реактивная мощность;  $k_p$  — коэффициент мощности, равный отношению активной мощности к полной ( $k_p = P/S$ );  $\cos \varphi$  — коэффициент сдвига фаз между

**Основные параметры сети при работе источников питания сварочной дуги**

Параметр	ВДУ-305	И-169	TPS 5000	УЭШП
$I_{m+}$ , А	27,9	27,5	47,4	149,9
$U_{m+}$ , В	559,0	532,7	557,8	—
$I_{m-}$ , А	-29,1	-28,1	-32,9	-148,3
$U_{m-}$ , В	-559,3	-532,8	-560,2	—
$I_s$ , А	17,6	15,9	11,2	78,1
$U_s$ , В	386,6	374,7	396,5	—
$S$ , В·А	6425,4	6175,8	4417,8	—
$P$ , Вт	5043,1	3917,4	1824,1	—
$Q$ , В·А	3981,5	4774,3	4023,6	—
$k_p$	0,785	0,634	0,413	—
$\cos \varphi$	0,797	0,680	0,741	—
$\operatorname{tg} \varphi$	0,746	1,074	0,877	—
$THD_I$	16,966	40,709	142,321	27,385
$THD_U$	2,672	1,039	1,245	—
$K$	2,348	5,849	43,455	2,452

током и напряжением — косинус угла  $\varphi$ ;  $\operatorname{tg} \varphi$  — тангенс угла  $\varphi$ .

Рассмотрим работу с трехфазной сетью переменного тока частотой 50 Гц сварочного выпрямителя ВДУ-305 с соединением обмоток силового трансформатора — D/Y. Сварку нержавеющей стали 12X18H10T проводили штучным электродом ОЗЛ-8 диаметром 3 мм при сварочном токе 90 А.

Зависимости относительных значений тока в линии  $i_*$  (в линейном проводе сети) и линейного напряжения  $u_*$  в питающей сети (между двумя фазами) от времени  $t$  при работе сварочного выпрямителя приведены на рис. 1, а. Значения  $i_*$  и  $u_*$  отнесены к своим наибольшим амплитудным значениям:  $i_* = i/|I_m|$  и  $u_* = u/|U_m|$ , где  $I_m = -29,1$  А,  $U_m = -559,3$  В и отражены в таблице, где приведены наибольшие «+» и наименьшие «-» амплитудные значения напряжения и тока за период  $I_{m+}$ ,  $I_{m-}$ ,  $U_{m+}$ ,  $U_{m-}$ , полученные в опыте. Как видно из рис. 1, а, форма кривой тока значительно отличается от синусоидальной. На кривой напряжения наблюдаются лишь незначительные изломы. Эти качественные результаты подтверждаются количественными, т. е. диаграммой гармонических составляющих тока  $I_{h\%}$  и напряжения  $U_{h\%}$  (рис. 1, б). На рис. 1, б значения номеров гармоник ограничены 27-й для улучшения наглядности диаграммы. Из диаграммы видно, что в питающей сети при работе сварочного выпрямителя выражены 3-я гармоника тока, составляющая 3 % от 1-й, 5-я — 15,2 %, 7-я и 9-я — 1,6 %, 11-я — 3,3 %, 13-я — 1,0 %, 17-я — 1,3 %, остальные нечетные гармоники тока не превосходят 1 %.

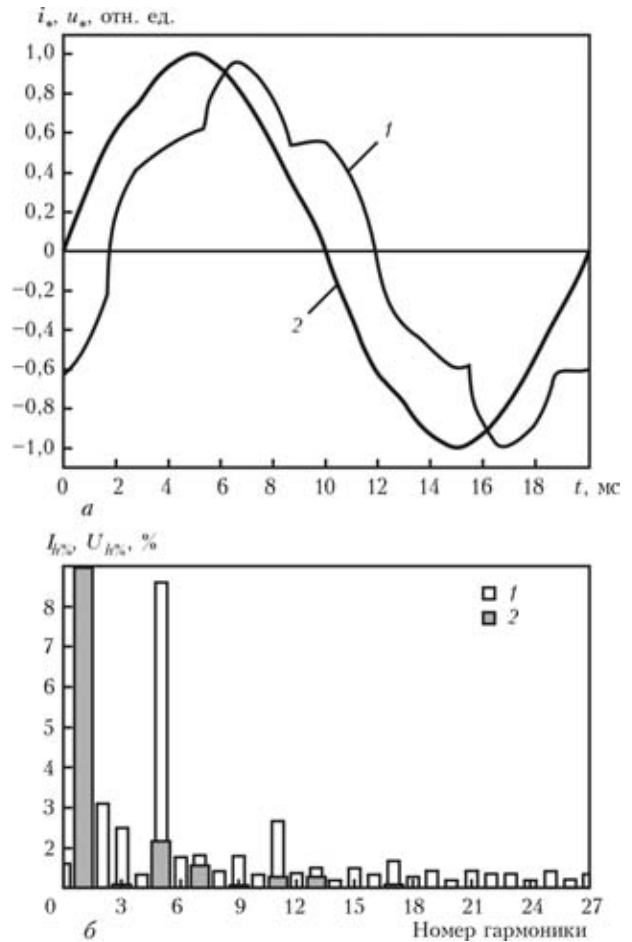


Рис. 1. Зависимости относительных значений тока (1) и напряжения (2) от времени в питающей сети трехфазного сварочного выпрямителя ВДУ-305 (а) и гармонический состав тока в линии (1) и линейного напряжения сети (2) (б)

Нечетные номера гармоник напряжения, превосходящие 1 % от 1-й гармоники, имеют значения: 5-я — 2,3 %, 7-я — 1,1 %. Также выражена постоянная составляющая тока — 1,2 % и четные гармоники тока: 2-я — 4,2 %, 6-я — 1,5 %. Постоянная составляющая и четные гармоники напряжения незначительны.

Коэффициенты нелинейных искажений тока и напряжения следующие:  $THD_I = 16,9$  %,  $THD_U = 2,7$  %,  $K$ -фактор равен 2,3. Таким образом, добавочные потери в сетях и оборудовании при работе рассматриваемого сварочного выпрямителя при данном виде его нагрузки увеличиваются более чем в 2 раза.

В таблице для ВДУ-305 приведены основные расчетные и опытные значения параметров сварочного выпрямителя при рассматриваемом виде нагрузки. При изменении режима сварки эти значения могут изменяться, при этом коэффициент  $THD_I$  может колебаться в диапазоне 16...25 %, а коэффициент  $THD_U$  — в диапазоне 2,5...3,5 %.

Согласно стандарту [5] приемлемые значения коэффициента  $THD_I$  лежат в пределах 5...8 %. Исследуемый выпрямитель превышает эти зна-

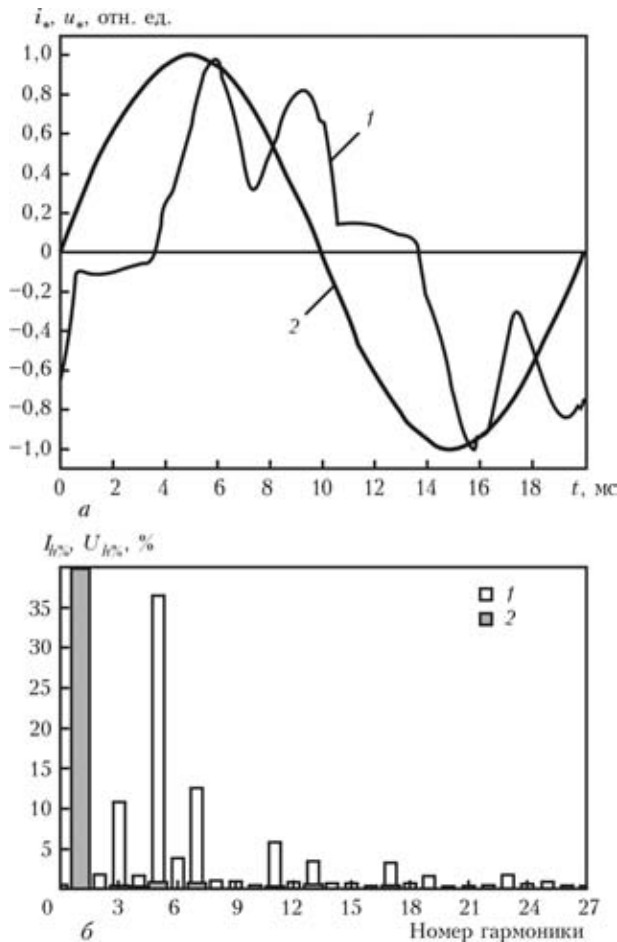


Рис. 2. Зависимости относительных значений тока (1) и напряжения (2) от времени в питающей сети опытного образца трехфазного тиристорного импульсного источника питания И-169 (а) и гармонический состав тока в линии (1) и линейного напряжения сети (2) (б)

чения более чем в 2 раза. Значение  $THD_U$  не превышено, но выпрямитель уже может оказывать влияние на работу другого оборудования.

Подобные характеристики имеют промышленные трехфазные сварочные выпрямители ВДУ-504-УЗ и ВДУ-506-УЗ.

Рассмотрим влияние на трехфазную сеть опытного образца трехфазного источника питания И-169, с соединением обмоток силового трансформатора источника — Y/Y. Сварку проводили проволокой Св-08Г2С диаметром 1 мм в аргоне и углекислом газе 82 % Ar + 18 % CO<sub>2</sub>, при сварочном токе 200 А, частота следования импульсов 200 Гц, длительность импульса 3 мс.

Зависимости от времени относительных значений тока в линии и линейного напряжения в питающей сети при работе источника питания приведены на рис. 2, а ( $I_m = -28,1$  А,  $U_m = -532,8$  В). Хотя кривая тока значительно отличается от синусоиды, кривая напряжения почти не искажена.

Из диаграммы гармонических составляющих действующего значения тока и напряжения (рис. 2, б) видно, что в питающей сети при работе опытного образца источника питания выражены

3-я гармоника тока, составляющая 10,7 % от 1-й гармоники, 5-я — 36,3 %, 7-я — 12,4 %, 11-я — 5,7 %, 13-я — 3,4 %, 17-я — 3,1 %, 19-я — 1,4 %, 23-я — 1,6 %, остальные нечетные гармоники тока не превышают 1 %. Гармоники напряжения, превосходящие 1 % от 1-й гармоники, выражены незначительно. Четные гармоники тока: 2-я — 1,7 %, 4-я — 1,4 %.

Коэффициенты нелинейных искажений тока и напряжения для 1-й гармоники тока и напряжения:  $THD_I = 40,7$  %,  $THD_U = 1,0$  %, К-фактор равен 5,8.

Сварочный источник питания имеет значение  $THD_p$ , превышающее допустимое значение [5] в 5 раз, уровень  $THD_U$  в этом источнике питания очень низкий, но добавочные потери в сетях и оборудовании при работе источника питания, при данном виде его нагрузки увеличиваются почти в 6 раз.

В таблице для И-169 приведены основные параметры работы источника питания при рассматриваемом виде нагрузки. При изменении режима сварки эти значения изменяются и коэффициент  $THD_I$  может повышаться до 49 %.

Зависимости от времени относительных значений тока в линии и линейного напряжения в трехфазной питающей сети при работе транзисторного инверторного источника питания TPS 5000 показаны на рис. 3, а. Наибольшие амплитудные значения токов и напряжений:  $I_m = 47,4$  А,  $U_m = -560,2$  В.

На рис. 3, б показан гармонический состав тока в линии и линейного напряжения на входе сварочного источника питания при сварке в смеси 82 % Ar + 18 % CO<sub>2</sub> проволокой диаметром 1,2 мм, сварочный ток 150 А. Кривая тока представляет собой два ярко выраженных импульса на фоне почти нулевых значений на остальном протяжении полупериода. Кривая напряжения хотя и похожа на синусоиду, но имеет почти горизонтальный срез в области экстремумов.

В питающей сети источника выражены практически все нечетные гармоники тока, в частности 3-я гармоника тока, составляющая 42,6 % от 1-й гармоники, 5-я — 83,3 %, 7-я — 79,7 %, 9-я — 23,7 %, 11-я — 42,7 %, 13-я — 37,1 %, 15-я — 3,5 %, 17-я — 14,1 %, 19-я — 7,0 %, 21-я — 4,9 %. Гармоники напряжения выражены незначительно. Также выражена постоянная составляющая тока — 10,8 % и практически все четные гармоники тока: 2-я — 16,9 %, 4-я — 12,1 %, 6-я — 14,3 %, 8-я — 13,1 %.

Коэффициенты нелинейных искажений тока и напряжения для 1-й гармоники тока и напряжения:  $THD_I = 142,3$  %,  $THD_U = 1,2$  %, К-фактор равен 43,5.

Исследуемый источник питания превышает значения, установленные стандартом [5], коэффи-

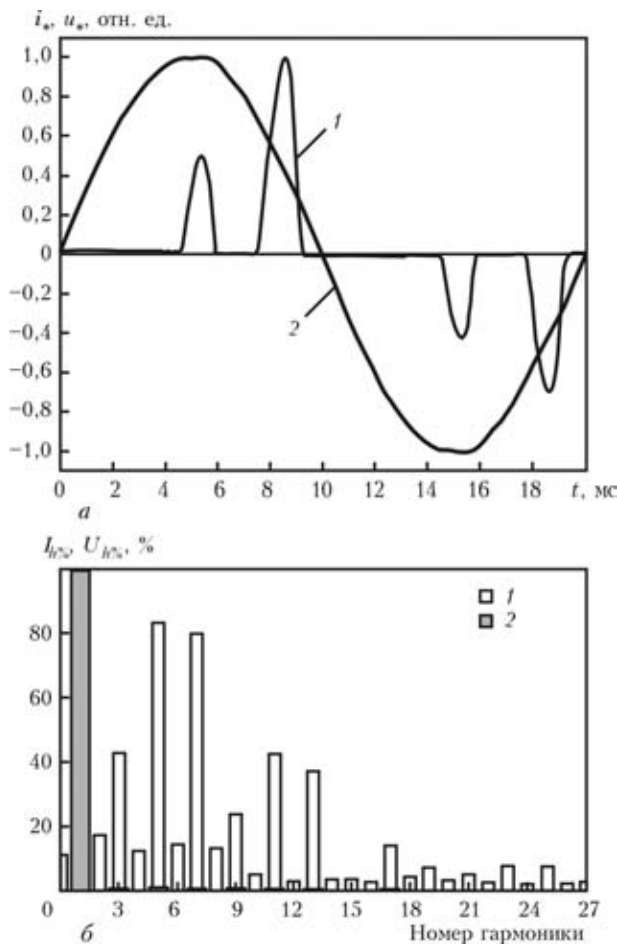


Рис. 3. Зависимости относительных значений тока (1) и напряжения (2) от времени в питающей сети универсального трехфазного транзисторного инверторного источника питания Trans Puls Synergic TPS 5000 фирмы «Fronius» (а) и гармонический состав тока в линии (1) и линейного напряжения сети (2) (б)

коэффициента  $THD_I$  в 17,7 раза, о чем свидетельствует форма кривой тока. При этом в сеть генерируется чрезвычайно широкий спектр гармонических составляющих тока. Значения коэффициента  $THD_U$  в этом источнике больше, чем у предыдущего источника питания, но вполне допустимы.

Добавочные потери в сетях и оборудовании при работе источника питания при данном виде нагрузки увеличиваются более чем в 43 раза.

В таблице для TPS 5000 приведены основные параметры работы источника питания при рассматриваемом виде нагрузки. При изменении режима сварки эти значения изменятся, при этом коэффициент  $THD_I$  лежит в диапазоне 120,5...168,7 %, а коэффициент  $THD_U$  — в диапазоне — 1,7..1,8 %.

Крайне высоким уровнем высших гармоник отличаются и другие сварочные инверторные источники питания [10].

Покажем влияние на сеть работы однофазной установки электрошлакового переплава УЭШП [8], построенной на базе установки Р-951, разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона. Мощная ус-

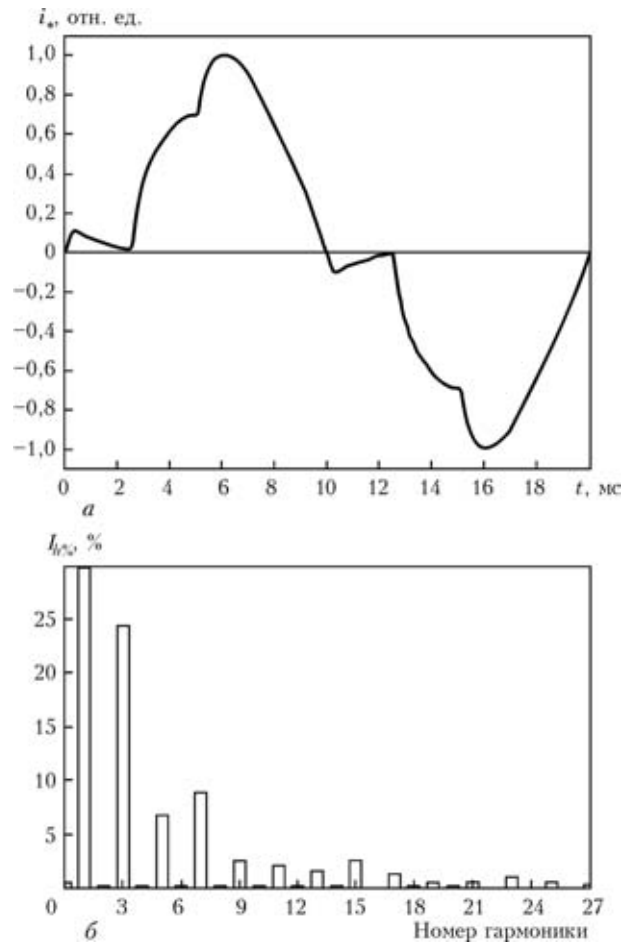


Рис. 4. Зависимость относительных значений тока от времени в питающей сети УЭШП (а) и гармонический состав тока в линии (б)

тановка, содержащая два параллельно включенных однофазных трансформатора ТШП 10000 (ток на вторичной стороне одного трансформатора 10 кА, вторичное напряжение изменяется в диапазоне от 42 до 76 В, номинальная мощность трансформатора 700 кВ·А, максимальная мощность 760 кВ·А, первичное напряжение 380 В), блок тиристорного регулирования тока и сглаживающий реактор, подключается к двум фазам трехфазной сети. Зависимости относительных мгновенных значений тока в одном из параллельных проводников сети, питающей установку, от времени показаны на рис. 4, а. Наибольшее амплитудное значение тока:  $I_m = 149,9$  А. Гармонический состав тока в линии на входе в установку при электрошлаковом переплаве металла показан на рис. 4, б. Напряжение на клеммах установки не измерялось из-за сложности к их доступу.

В питающей сети выражены 3-я гармоника тока, составляющая 24,5 % от 1-й гармоники, 5-я — 6,7 %, 7-я — 8,9 %, 9-я — 2,6 %, 11-я — 2,1 %, 13-я — 1,6 %, 15-я — 2,6 %, 17-я — 1,3 %, 23-я — 1,1 %, остальные нечетные гармоники тока не превосходят 1 %. Четные номера гармоник



тока практически отсутствуют. Коэффициент нелинейных искажений тока для 1-й гармоники тока:  $THD_I = 27,4$  %,  $K$ -фактор равен 2,4.

В установке превышены значения коэффициента  $THD_p$ , установленные стандартом [5], более чем в 3 раза. При этом в сеть генерируются значительные гармонические составляющие тока. Добавочные потери в сетях и оборудовании при работе установки увеличиваются более чем в 2 раза.

В таблице для УЭШП приведены основные параметры работы установки при рассматриваемом виде нагрузки. При изменении режима плавки эти значения могут изменяться, при этом коэффициент  $THD_I$  может колебаться в диапазоне 25...33 %.

За счет того, что установка подключается к двум фазам сети, трехфазная сеть нагружается неравномерно и рекомендуется ее последующее симметрирование.

Таким образом для улучшения качества электроэнергии и снижения уровня генерируемых сварочным оборудованием высших гармоник тока и напряжения целесообразно, а в ряде случаев необходимо применение фильтров высших гармоник тока. При этом сварочные источники питания, помимо обеспечения ими необходимых технологических показателей, будут иметь хорошую электромагнитную совместимость, снижать добавочные потери в проводах сети и подключенном к сети оборудовании.

Отметим, что положительным свойством большинства трехфазных сварочных источников питания в отличие от однофазных источников является то, что они незначительно загружают высшими гармониками тока нулевой провод сети, что связано с практически равномерно распределенной нагрузкой по трем фазам, а в случае соединения первичных обмоток силового трансформатора в треугольник, гармоники токов кратные трем уменьшаются.

Снижение уровня высших гармоник тока, генерируемых сварочным оборудованием, может осуществляться так называемыми активными и пассивными фильтрами. Активные фильтры, которые содержат много элементов как силовой, так и микроэлектроники, дороги, сложны и не всегда надежны в эксплуатации. Поэтому первоочередное внимание нами уделялось пассивным фильтрам, к которым относятся:

— трехфазные резонансные индуктивно-емкостные фильтры высших гармоник тока [11], подключаемые непосредственно на входе сварочного оборудования;

— фазосдвигающие трансформаторные и автотрансформаторные фильтры высших гармоник тока [1, 4, 12], которые к тому же симметрируют сеть. Они подключаются на входе предприятия

или здания, имеющими равномерно распределенные по фазам нелинейные нагрузки, прототипом которых явились устройства симметрирования трехфазных сетей [12, 13].

Фильтры сводят к минимуму генерацию в сеть реактивной мощности, которая отрицательно влияет на работу сетей, и имеют повышенную надежность при работе в «некачественных» сетях, обеспечивая снижение коэффициента  $THD_I$  до 4...8 %, даже в сетях с большим содержанием высших гармоник тока.

В Институте электросварки им. Е. О. Патона и Институте электродинамики НАН Украины накоплен большой опыт по разработке фильтров высших гармоник тока в питающих электрических сетях. Созданы методики расчета параметров сетей, необходимых при расчете параметров фильтров высших гармоник тока и методики расчета самих фильтров и их электромагнитных элементов.

## Выводы

1. Значение коэффициента нелинейных искажений тока, определяющего уровень генерации в сеть внешних гармоник тока, при работе исследованных трехфазных источников питания лежит в диапазоне 16,0...168,7 %, что значительно превосходит нормы, установленные IEEE Standard 519-1992, и свидетельствует об их плохой электромагнитной совместимости.

2. Коэффициент, учитывающий увеличение добавочных потерь от вихревых токов в оборудовании и сетях,  $K$ -фактор был равен 2,35...43,0 %, что не дает возможность отнести трехфазные сварочные источники питания к категории энергосберегающих.

3. Применение фильтров высших гармоник тока совместно с трехфазными сварочными источниками питания целесообразно, а в ряде случаев необходимо, так как их использование улучшает качество трехфазных питающих сетей при работе сварочных источников питания, снижая коэффициент нелинейных искажений тока до приемлемых значений 4...8 %.

1. *Пентегов И. В., Волков И. В., Левин М.* Устройства подавления высших гармоник тока // Технічна електродинаміка: Тем. випуск. Проблеми сучасної електротехніки. — К.: ІЕД НАНУ, 2002. — Ч. 1. — С. 13–22.
2. *Dugan R. C., McGranaghan M. F., Beaty H. W.* Electrical power systems quality. — N.Y.: McGraw-Hill, 1996. — 260 p.
3. *Waggoner R. M.* Practical guide to quality power for sensitive electronic equipment. — Kansas: ES&M Books, 1997. — 144 p.
4. *Paice D. A.* Power electronic converter harmonics. Multipulse methods for clean power. — N.Y.: IEEE Press, 1995. — 202 p.
5. *IEEE Standard 519-1992: IEEE Recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems: — IEEE Standards Board, 1992. — 93 p.*

6. *ДСТУ ІЕС 61000-3-2:2004*. Електромагнітна сумісність. Ч. 3-2: Норми. Норми на емісію гармонік струму (для сили вхідного струму обладнання не більше 16 А на фазу). — К.: Держспоживстандарт України, 2007. — 18 с.
7. *Zhao Wei-Song, Zhao Wei-Shu*. Study on electromagnetic compatibility design for inverter welding machine // *Dian Han Ji = Electric Welding Machine*. — 2009. — 39, № 12. — P. 47–50.
8. *Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением* / Под ред. акад. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 768 с.
9. *Бессонов Л. А.* Теоретические основы электротехники. — М.: Высш. шк., 1964. — 750 с.
10. *Zhang Xiao-Pin, Cao Tai-Qiang*. Study on the harmonics and EMI of switching power supply for welding power source // *Dian Han Ji = Electric Welding Machine*. — 2009. — 39, № 12. — P. 59–62.
11. *Улучшение качества электроэнергии в сетях промышленных предприятий посредством фильтров высших гармоник тока* / И. В. Волков, М. Н. Курильчук, И. В. Пентегов, С. В. Рымар // *Вісн. Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. праць, Енергетика*. — Маріуполь: ПДТУ, 2005. — Ч. 2, Вип. № 15. — С. 15–19.
12. *Шидловский А. К., Кузнецов В. Г.* Повышение качества энергии в электрических сетях. — Киев: Наук. думка, 1985. — 268 с.
13. *Шидловский А. К., Новский В. А., Каплычный Н. Н.* Стабилизация параметров электрической энергии в распределительных сетях. — Киев: Наук. думка, 1989. — 312 с.

Harmonic composition of three-phase electric mains at operation of welding power sources was studied. It is shown that welding heat sources generate higher current harmonics into the mains that impairs the quality of power. Application of higher harmonic filters is recommended to reduce the impact of welding power sources on the mains.

Поступила в редакцию 30.06.2011

## ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕМИНАР ООО «ФРОНИУС УКРАИНА»

**22 сентября 2011 г.** в Технологическом центре ООО «Фрониус Украина» прошел технический семинар на тему «*TransSteel: Технология сварки в машиностроении*». Представители более 20 машиностроительных предприятий со всей Украины приняли в нем участие. Среди них главные сварщики и ведущие специалисты сварочных производств. На протяжении всего дня сотрудники торгового отдела и службы технической поддержки ООО «Фрониус Украина» знакомили участников семинара со сварочным оборудованием серии *TransSteel*.

Популярная линейка сварочных источников питания *TransSteel* является новым поколением инверторного цифрового оборудования и предназначена для профессиональной сварки сталей. Специально разработанная для данных источников встроенная технология *Steel Transfer Technology* характеризуется наличием трех основных режимов сварки *Steel*, *Steel Root* и *Steel Dynamic* и позволяет решать задачи любой степени сложности, будь-то многопроходная сварка, различные пространственные положения, наличие больших зазоров и т. д. Кроме того, в линейке *TransSteel* особо следует выделить источники питания специального применения — *TransSteel Yard* и *TransSteel Rob* для использования в особотяжелых условиях работы и для автоматизированной/роботизированной сварки соответственно.

Впервые в рамках семинара была представлена новая компактная версия сварочного полуавтомата *TransSteel 3500 Compact* со встроенным механизмом подачи проволоки.

После проведения теоретической части презентаций участникам семинара также были продемонстрированы практические особенности выполнения сварочных соединений с помощью оборудования *TransSteel*. Использование специально отобранных образцов позволило смоделировать процесс сварки наиболее типичных сварных соединений и наглядно продемонстрировать технические особенности и преимущества оборудования от «Fronius».

Участники выразили благодарность организаторам семинара за полезную и насыщенную программу, возможность получения ответов на самые разнообразные технические вопросы.

