



УДК 621.3.018.32:621.3.018.783.3:621.3.017

## ВЛИЯНИЕ ОДНОФАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ СЕТЬ

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

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

*Ключевые слова:* электрическая сеть, однофазные сварочные источники питания, высшие гармоники тока и напряжения, коэффициент нелинейных искажений тока и напряжения

В конце XX века в развитых странах столкнулись с проблемой нарастающего ухудшения качества электроэнергии электрических сетей, заключающегося в искажении синусоидальной формы напряжения и тока сети, что сказалось на увеличении потерь и понижении надежности эксплуатации электрооборудования. К этому привело возрастание количества оборудования с нелинейными нагрузками, генерирующими в электрическую сеть высшие гармоники тока.

Однофазные нелинейные нагрузки (импульсные источники питания, частотно-управляемые электроприводы, выпрямители и инверторы, системы автоматического управления, компьютерные системы управления технологическими процессами, телекоммуникационная аппаратура, офисная техника, энергосберегающие лампы и др.) из-за своей массовости приводят к увеличению суммарного значения коэффициента нелинейных искажений (гармоник) тока  $\text{THD}_I$  (Total Harmonic Current Distortion [1]) до 90...140 %, особенно за счет генерации в сеть токов нулевой последовательности (3-й и кратных ей гармоник до 80 %) [2].

Однофазные нелинейные нагрузки ухудшают электромагнитную совместимость, что может приводить к ненадежной работе и выходу из строя электрического и электронного оборудования [1, 2], перегоранию осветительных приборов, коррозии элементов заземления, ускоренному старению изоляции, перегреву роторов и износу подшипников электродвигателей. Вследствие преобладания в сети 3-й и кратных ей гармоник может возникать реверсное вращение асинхронных электродвигателей и подгорание изоляции нулевых проводов, вплоть до воспламенения при превы-

шении тока в нулевом проводе выше проектного уровня.

Высшие гармоники тока увеличивают также суммарное значение коэффициента нелинейных искажений напряжения  $\text{THD}_U$  (Total Harmonic Voltage Distortion) сетей, доводя его до 7 % и выше.

Европейские и отечественные нормативные документы, определяющие параметры качества однофазных сетей, не оговаривают уровни коэффициента нелинейных искажений тока, а лимитируют абсолютные значения тока конкретных гармоник. В Украине стандарт распространяется только на однофазные сети с током не более 16 А на фазу [3]. В Северной Америке [4] и странах Евросоюза уровни  $\text{THD}_I$  нормированы для трехфазных сетей. Поэтому можно прогнозировать появление нормативных документов, ограничивающих уровни  $\text{THD}_I$  также в однофазных сетях.

Приемлемыми считаются значения коэффициента нелинейных искажений напряжения, достигающие 3 % для индивидуальных нелинейных нагрузок, допустимое значение определено 5 % для совокупных нагрузок сети [4]. Отечественные нормативные документы [3] допускают значение  $\text{THD}_U$  равным 8 %, при котором уже существенно искажается синусоидальное напряжение сети.

Снизить влияние высших гармоник тока можно с помощью фильтров высших гармоник тока, которые уменьшают их уровень в сети.

Однофазное сварочное оборудование для питания электрической дуги, являющейся нелинейной нагрузкой, сварочные выпрямители и инверторы также генерируют мощные высшие гармоники тока. Поэтому с каждым годом уменьшение уровня гармоник тока при работе сварочного оборудования становится все актуальнее. Особенно, когда речь идет о продвижении отечественных сварочных технологий и оборудования в развитые страны.

Цель данной статьи заключается в изучении влияния на электрическую сеть работы типичных однофазных сварочных источников питания и выработке рекомендаций по уменьшению генериру-



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

Параметр	СТШ-250	ВДУ-125	ВДУ-201	ВДИ-200
$I_{m+}$ , А	80,8	30,2	61,2	59,5
$U_{m+}$ , В	310,6	304,5	312,2	312,9
$I_{m-}$ , А	-74,3	-33,3	-54,7	-59,6
$U_{m-}$ , В	-313,2	-304,3	-315,1	-313,1
$I$ , А	41,0	23,8	26,1	36,8
$U$ , В	221,0	210,6	220,1	221,5
$S$ , В·А	9895,9	5008,3	5202,2	8282,5
$P$ , Вт	2787,2	3701,6	2543,6	6130,1
$Q$ , вар	9495,2	3373,6	4537,9	5569,6
$k_p$	0,282	0,739	0,489	0,740
$\cos \varphi$	0,280	0,764	0,530	0,980
$\operatorname{tg} \varphi$	3,376	0,816	1,573	-0,129
$\operatorname{THD}_I$ , %	15,983	16,879	41,165	86,366
$\operatorname{THD}_U$ , %	3,110	2,256	3,624	5,957
$K$	1,383	1,309	3,233	7,259

Примечания. 1. Здесь  $I$ ,  $U$  — действующие значения тока и напряжения;  $S$ ,  $P$ ,  $Q$  — полная, активная и реактивная (может включать мощность искажения при наличии гармоник) мощности;  $k_p$  — коэффициент мощности, равный соотношению активной и полной мощности  $P/S$ ;  $\cos \varphi$  — коэффициент сдвига фаз между током и напряжением. 2. Формулы для расчета параметров приведены в работе [5].

емых ими высших гармоник тока. Статья является продолжением работы [5], в которой рассмотрены сварочные источники питания, работающие с трехфазной электрической сетью.

Были исследованы такие однофазные источники питания сварочной дуги, подключенные к сети переменного тока частотой 50 Гц, представляющие собой однофазные нелинейные нагрузки в сварочном производстве:

промышленный однофазный сварочный трансформатор СТШ-250 (трансформатор на сварочный ток до 250 А) с развитыми поперечными магнитными потоками рассеяния и магнитным шунтом, содержащим устройство стабилизации горения сварочной дуги [6–8]. Он серийно выпускается Опытным заводом сварочного оборудования ИЭС им. Е. О. Патона и предназначен для ручной дуговой сварки штучными электродами переменного тока. Наличие устройства стабилизации горения сварочной дуги позволяет осуществлять сварку и электродами для постоянного тока;

однофазный сварочный источник питания с конденсаторным множителем напряжения ВДУ-125 (выпрямитель дуговой универсальный на сварочный ток до 125 А). Состоит из сварочного трансформатора с развитыми ярмовыми магнитными потоками рассеяния и конденсаторного множителя напряжения с мостовой диодной схемой

выпрямления [9–11]. Множитель напряжения обеспечивает улучшенное начальное зажигание сварочной дуги, зажигание при переходе тока через нуль и стабильность ее горения. Разработан и изготовлялся в ИЭС им. Е. О. Патона, а также небольшими партиями — в Институте электродинамики НАН Украины. Источник питания имеет дискретное регулирование сварочного тока и предназначен для ручной дуговой сварки штучными электродами для переменного тока;

однофазный сварочный источник питания с конденсаторным множителем напряжения и тиристорным регулированием сварочного тока ВДУ-201 (на ток сварки до 200 А). Состоит из сварочного трансформатора с ярмовыми магнитными потоками рассеяния, конденсаторного множителя напряжения с мостовой тиристорной схемой выпрямления, параллельно включенного дополнительного диодного мостового выпрямителя и фазосдвигающего реактора для обеспечения непрерывности сварочного тока при работе тиристоров. Разработан в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, изготовлялся Литовским СП «Relmeta» (г. Вильнюс) и предназначен для ручной дуговой сварки штучными электродами для переменного и постоянного тока;

промышленный однофазный транзисторный инверторный источник питания ВДИ-200, выпускаемый Опытным заводом сварочного оборудования ИЭС им. Е. О. Патона, предназначен для ручной дуговой сварки низкоуглеродистых и легированных сталей штучными электродами для переменного и постоянного тока.

В качестве измерительного прибора использован анализатор качества электрической сети (одной фазы) Chauvin Arnoux С.А. 8230 (Франция), позволяющий получать временные зависимости тока и напряжения с их характерными значениями (максимальное и минимальное; полная, активная и реактивная мощность и т. п.), а также спектры гармоник до максимального номера гармоник  $h_{\max} = 50$ .

Рассмотрим работу с сетью сварочного трансформатора СТШ-250, содержащего устройство стабилизации горения сварочной дуги.

На рис. 1, а приведены зависимости от времени  $t$  относительных мгновенных значений тока  $i_*$  и напряжения  $u_*$  в питающей сети при работе сварочного трансформатора, полученные при сварке нержавеющей стали 12Х18Н10Т штучным электродом ОЗЛ-8 диаметром 3 мм при сварочном токе 90 А. Величины  $i_*$  и  $u_*$  отнесены к своим наибольшим амплитудным значениям:  $i_* = i/|I_m|$  и  $u_* = u/|U_m|$ , где  $I_m = 80,8$  А,  $U_m = -313,2$  В, выбранным из технической характеристики, где даны наибольшие «+» и наименьшие «-» амплитудные значения напряжения и тока за периоды  $I_{m+}$ ,  $I_{m-}$ ,  $U_{m+}$ ,  $U_{m-}$ , полученные в эксперименте.



Форма кривых тока и напряжения незначительно отличаются от синусоидальной. Отмечены наложение кратковременного импульса, соответствующего импульсу стабилизатора, а также небольшой излом кривой тока при переходе через нуль.

На рис. 1, б показана диаграмма гармонических составляющих  $h$  тока  $I_{h\%}$  и напряжения  $U_{h\%}$  от действующего значения тока и напряжения 1-й основной гармоники, принятой за 100 %:  $I_{h\%} = I_{h\%}/I_1 \cdot 100$  %,  $U_{h\%} = U_{h\%}/U_1 \cdot 100$  %. Значения номеров гармоник ограничены числом 27 для улучшения наглядности диаграммы.

Из диаграммы видно, что в питающей сети при работе сварочного трансформатора выражены 3-я гармоника тока, составляющая 15,3 % 1-й, и 5-я — 2,3 %, остальные нечетные гармоники тока не превышают 1 %. Нечетные номера гармоник напряжения, достигающие более 1 % 1-й гармоники, имеют следующие значения: 3-я — 2,5, 5-я — 1,3, 9-я — 1 %. Имеется также постоянная составляющая тока — 10,9 % и четные гармоники тока (2-я — 2,8, 4-я — 2,4 %). Постоянная составляющая и четные гармоники напряжения выражены незначительно.

Коэффициенты нелинейных искажений тока и напряжения трансформатора СТШ-250 [1] составляют  $\text{THD}_I = 15,9$ ,  $\text{THD}_U = 3,1$  %.

$K$ -фактор, определяющий 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, равен 1,38.

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

Таким образом, добавочные потери в сетях и оборудовании при работе рассматриваемого сварочного трансформатора при данном виде его нагрузки, увеличиваются в 1,38 раза. В таблице приведены основные параметры работы сварочного трансформатора при рассматриваемом виде нагрузки.

При варьировании режима сварки эти значения могут меняться, при этом коэффициент  $\text{THD}_I$  может колебаться в диапазоне 13...24 %, а коэффициент  $\text{THD}_U$  — 2,5...3,5 %. Эти результаты подтверждают теоретический анализ гармонического состава переменного тока дуги [12], которая питается от сварочного трансформатора.

Сварочный трансформатор СТШ-250 генерирует в питающую сеть не очень большие гармонические составляющие тока, хотя и они могут отрицательно сказаться на работе оборудования,

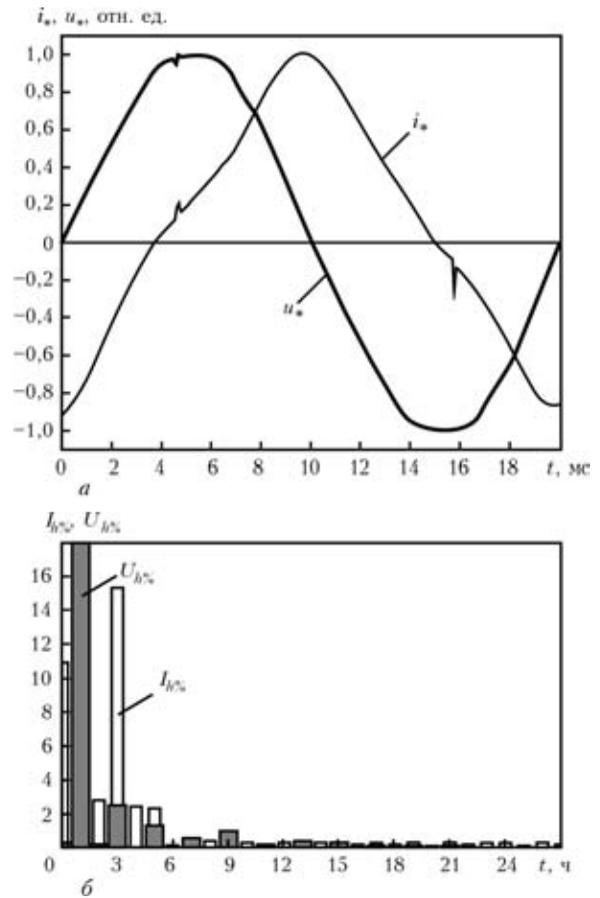


Рис. 1. Зависимости тока и напряжения от времени в питающей сети промышленного однофазного сварочного трансформатора СТШ-250 с устройством стабилизации горения сварочной дуги (а) и гармонический состав тока и напряжения сети (б)

подключенного к сети. Значение  $\text{THD}_U$  также невелико. Рассмотренные характеристики присущи и другим типам однофазных сварочных трансформаторов.

На рис. 2, а приведены зависимости от времени относительных значений тока и напряжения в питающей сети при работе сварочного источника питания с ВДУ-125. Характеристики снимали при сварке штучным электродом АНО-22 диаметром 3 мм на сварочном токе 120 А. Наибольшие амплитудные значения тока и напряжения в эксперименте были следующими:  $I_m = -33,3$  А,  $U_m = 304,5$  В. После перехода тока через нуль на синусоидальный ток накладывается небольшое возмущение, обусловленное работой умножителя напряжения. Форма напряжения очень близка к синусоидальной.

На рис. 2, б показана диаграмма гармонических составляющих действующего значения тока и напряжения, из которой видно, что в питающей сети при работе источника выражены 3-я гармоника тока, составляющая 15,6 % 1-й гармоники, 5-я — 4,6 %. Остальные нечетные гармоники тока не превышают 1 %. Нечетные номера гармоник напряжения, составляющие более 1 % 1-й гар-



моники, имеют такие значения: 3-я — 1,6, 5-я — 1,1 %. Постоянная составляющая тока равна 3,7 %. Четные гармоники тока таковы: 2-я — 4,0, 4-я — 1,1 %. Постоянная составляющая и четные гармоники напряжения выражены незначительно.

Коэффициенты нелинейных искажений тока и напряжения равны  $\text{THD}_I = 16,9$ ,  $\text{THD}_U = 2,2$  %. К-фактор достигает 1,31.

Сварочный источник питания ВДУ-125 имеет приемлемые значения  $\text{THD}_I$  и  $\text{THD}_U$ . Добавочные потери в сетях и оборудовании при работе источника питания при указанном виде нагрузки увеличиваются в 1,3 раза.

При варьировании режима сварки значения, приведенные в таблице, изменяются, при этом  $\text{THD}_I$  составит 8,7...20,8, а  $\text{THD}_U$  — 2,2...2,8 %.

Данные характеристики присущи всем типам сварочных источников питания с конденсаторным умножителем напряжения, разными видами сварочных трансформаторов, выполненными по схеме ВДУ-140, ВДУ-160 и ВДУ-180 и разработанными в ИЭС им. Е. О. Патона.

На рис. 3, а приведены зависимости от времени относительных значений тока и напряжения в питающей сети при работе сварочного источника питания с ВДУ-201. Наибольшие амплитудные

значения тока и напряжения следующие:  $I_m = 61,2$  А;  $U_m = -315,1$  В. Эксперименты проводили при сварке штучным электродом АНО-22 диаметром 3 мм на сварочном токе 90 А. На базовый синусоидальный ток небольшой амплитуды, который обеспечивался фазосдвигающим реактором, накладывался импульс тока большой амплитуды при коммутации тиристорov. Синусоида напряжения имела лишь незначительные искажения сразу после максимального значения.

На рис. 3, б показан гармонический состав тока и напряжения на входе сварочного источника питания. В питающей сети источника выражены 3-я гармоника тока, составляющая 37,7 1-й гармоники, 5-я — 6,8, 7-я — 6,1, 9-я — 2,5, 11-я — 1,1, 13-я — 1,0 и 19-я — 1,1 %, остальные нечетные гармоники тока не превышали 1 %. Нечетные номера гармоник напряжения более 1 % 1-й гармоники имеют следующие значения: 3-я — 2,5, 5-я — 1,6 и 13-я — 1,4 %. Выражена постоянная составляющая тока (6,8 %) и его четные гармоники (2-я — 4,5, 4-я — 7,7, 6-я — 7,9, 8-я — 5,0 и 10-я — 2,4 %). Постоянная составляющая и четные гармоники напряжения выражены незначительно.

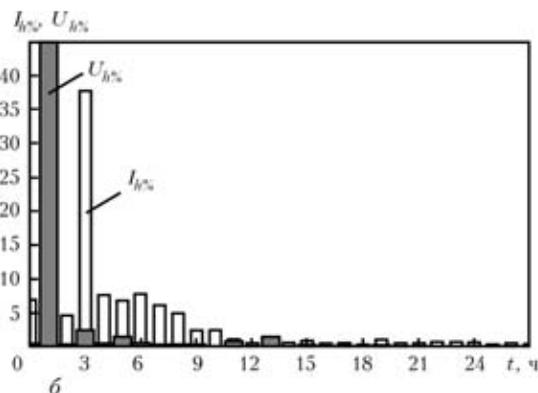
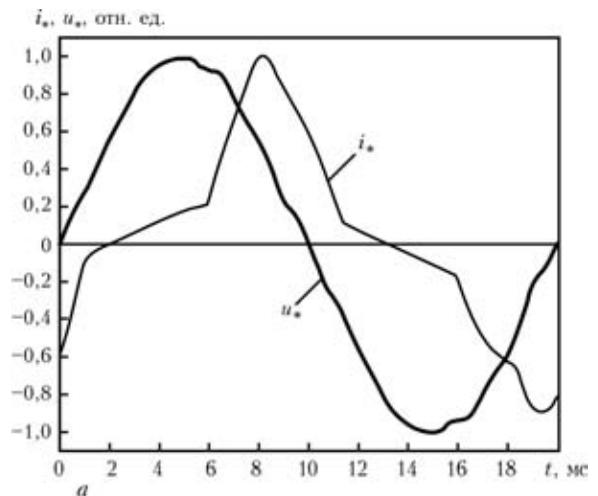
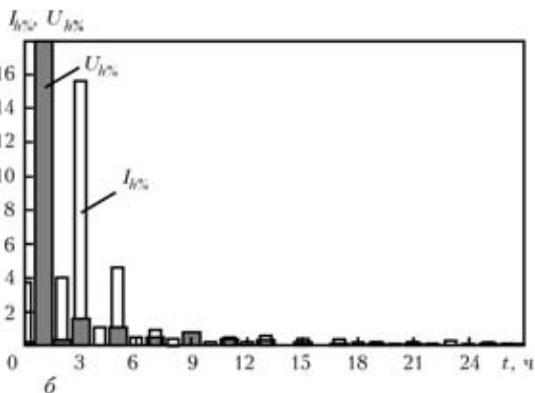
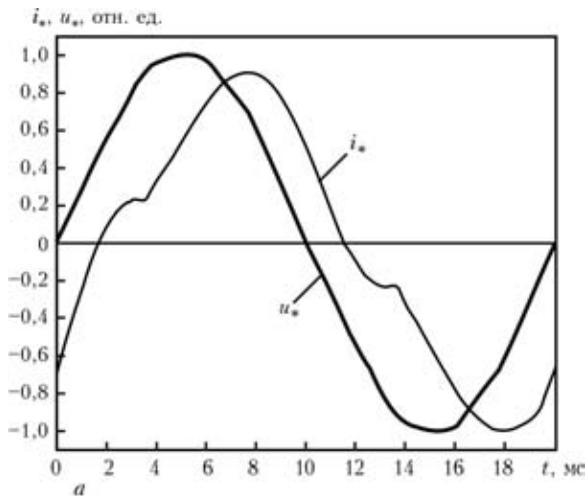


Рис. 2. Зависимости тока и напряжения от времени в питающей сети однофазного сварочного источника питания с конденсаторным умножителем напряжения ВДУ-125 (а) и гармонический состав тока и напряжения сети (б)

Рис. 3. Зависимости тока и напряжения от времени в питающей сети однофазного сварочного источника питания с конденсаторным умножителем напряжения ВДУ-201 (а) и гармонический состав тока и напряжения сети (б)



Коэффициенты нелинейных искажений тока и напряжения источника питания с ВДУ-201 имеют следующие значения:  $\text{THD}_I = 41,2$ ,  $\text{THD}_U = 3,6$  %,  $K = 3,2$ . В этом источнике питания значение коэффициента  $\text{THD}_I$  высокое. При этом в сеть генерируются большие гармонические составляющие тока, которые также существенны.

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

В таблице приведены основные параметры работы источника питания при рассматриваемом виде нагрузки. В случае варьирования режима сварки эти значения изменяются, при этом коэффициент  $\text{THD}_I$  составит 9,5...46,5 %, а коэффициент  $\text{THD}_U$  — 1,8...3,9 %.

На рис. 4, а показаны зависимости от времени относительных значений тока и напряжения в питающей сети при работе сварочного инвертора ВДИ-200. Наибольшие амплитудные значения тока и напряжения в эксперименте равнялись  $I_m = -59,6$  А,  $U_m = -313,1$  В.

На рис. 4, б приведен гармонический состав тока в линии и линейного напряжения на входе сварочного источника питания при сварке низколегированной стали Ст3 электродами УОНИ-13/55 диаметром 5 мм на сварочном токе 200 А.

В питающей сети источника выражены практически все нечетные гармоники тока, в частности, 3-я гармоника тока, составляющая 75,1 от 1-й гармоники, 5-я — 39,5, 7-я — 10,5, 9-я — 8,3, 11-я — 7,4, 13-я — 1,2, 15-я — 3,1, 17-я — 2,4, 21-я — 1,9, 27-я — 1,1 %. Нечетные номера гармоник напряжения более 1 % 1-й гармоники имеют такие значения: 3-я — 5,2, 5-я — 2,2, 7-я — 1,4 %. Постоянная составляющая тока и напряжения отсутствует. Четные гармоники тока выражены незначительно.

Коэффициенты нелинейных искажений тока и напряжения источника питания ВДИ-200 составляют  $\text{THD}_I = 86,4$  %,  $\text{THD}_U = 5,9$  %,  $K = 7,2$ .

Кривая тока представляет собой ярко выраженный импульс на фоне почти нулевых значений на остальном протяжении полупериода, для источника питания ВДИ-200 значение коэффициента  $\text{THD}_I$  довольно высокое. При этом в сеть генерируется очень широкий спектр гармонических составляющих тока. Кривая напряжения хотя и похожа на синусоиду, но имеет срезы в области экстремумов, поэтому амплитуды гармонических составляющих напряжения также высоки. Подобная форма кривой напряжения может приводить к ложным срабатываниям устройств бесперебойного питания, подключенным к той же сети, которые включаются при понижении амплитудного значения напряжения сети.

Добавочные потери в сетях и оборудовании при работе источника питания при данном виде

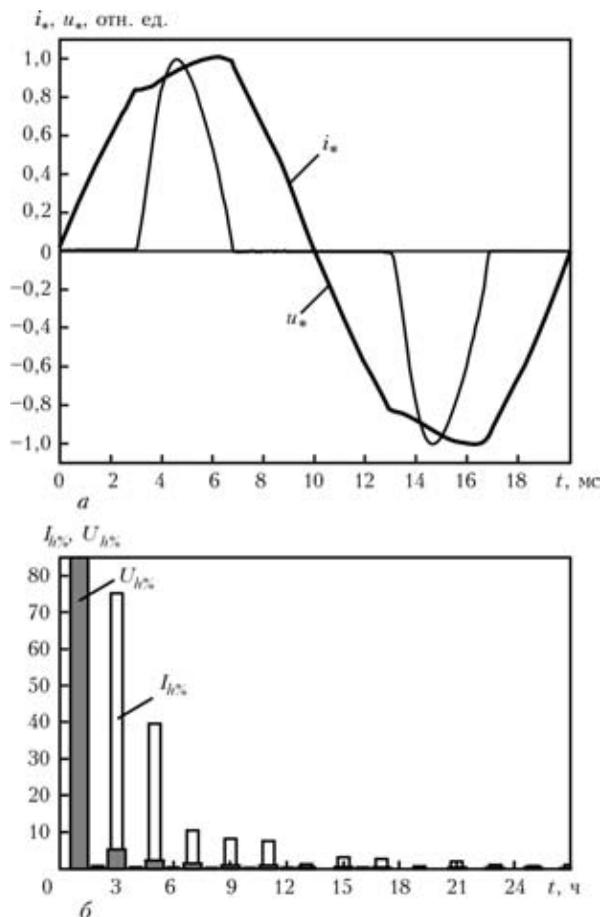


Рис. 4. Зависимость тока и напряжения от времени в питающей сети однофазного транзисторного инверторного источника питания ВДИ-200 (а) и гармонический состав тока и напряжения сети (б)

нагрузки увеличиваются более чем в семь раз. В таблице для ВДИ-200 приведены основные параметры работы этого источника питания при рассматриваемом виде нагрузки. Отрицательное значение  $\text{tg } \varphi$  свидетельствует о том, что инверторный источник питания является активно-емкостной нагрузкой для сети.

При варьировании режима сварки эти значения изменяются, при этом коэффициент  $\text{THD}_I$  равняется 82,0...121,5 %, а коэффициент  $\text{THD}_U$  — 2,8...6,7 %.

Анализируя приведенные данные можно прийти к выводу, что 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 необходимых технологических показателей, будут иметь хорошую электромагнитную совместимость, а также сокращать добавочные потери в проводах сети и подключенном к сети оборудовании.

Отметим положительные свойства трансформаторных источников питания сварочной дуги,



которые, кроме технологичности, надежности и небольшой стоимости, незначительно воздействуют на сеть. Сварочные трансформаторы и источники питания, выполненные на их основе, обеспечивают регулирование сварочного тока самим трансформатором [13] (без электронного блока регулирования тока). Обусловлено это тем, что сварочный трансформатор имеет повышенную индуктивность рассеяния для обеспечения крутопадающей внешней характеристики [13, 14], а это способствует уменьшению высших гармоник тока. Конденсаторы умножителя напряжения и сварочный трансформатор с развитыми магнитными потоками рассеяния образуют своеобразный внутренний фильтр высших гармоник тока источника питания. Но сами высшие гармоники тока (в абсолютных величинах) довольно велики, поэтому для однофазных сварочных трансформаторов и источников питания, выполненных на их основе, желательно применение фильтров высших гармоник тока. В связи с этим трансформаторные источники питания сварочной дуги несмотря на повышенную массу характеризуются многими положительными свойствами. Их необходимо и в дальнейшем развивать и совершенствовать, например вместе с конденсаторными умножителями напряжения, существенно уменьшающими массу трансформатора и потребляемый ток из сети, или устройствами стабилизации горения сварочной дуги, применение которых дает возможность использовать при сварке электроды для постоянного тока.

В отличие от сварочных трансформаторов источники питания, содержащие электронные схемы управления сварочным током, генерируют больше гармоник тока, особенно это касается сварочных инверторов. Несмотря на преимущества (небольшую массу, обеспечение заданной формы внешней характеристики, высокое значение  $\cos \varphi$  и др.) сварочные инверторы генерируют в сеть наиболее широкий спектр гармонических составляющих тока и существенно искажают синусоидальную кривую тока и напряжения, поэтому в этом случае требуется обязательное применение фильтров высших гармоник тока. К подобным выводам пришли и китайские исследователи [15].

Однофазные сварочные источники питания для сетей, в отличие от трехфазных, значительно загружают нулевой провод, не предназначенный для больших нагрузок, высшими гармониками тока нулевой последовательности. Поэтому, помимо резонансных индуктивно-емкостных фильтров высших гармоник тока [16], следует применять автотрансформаторные фильтры токов нулевой последовательности [17, 18], используемые для трехфазных четырехпроводных сетей. Подобные фильтры к тому же симметрируют сеть. Их можно подключать параллельно с сетью на входе в предприятие или здание или использовать несколько

фильтров по длине сети. В ряде случаев целесообразно применение одновременно с однофазными сварочными источниками питания, у которых зафиксировано пониженное значение коэффициента мощности  $\cos \varphi$ , устройств компенсации реактивной мощности. В данном случае это источники питания СТШ-250 и ВДУ-201.

Рекомендуемые фильтры практически не генерируют в сеть реактивную мощность, которая отрицательно влияет на работу сетей, и отличаются повышенной надежностью при работе в «некачественных» сетях, обеспечивая снижение коэффициента  $\text{THD}_I$  до 5...15 % в однофазных сетях.

ИЭС им. Е. О. Патона и Институт электродинамики НАН Украины имеют большой опыт по разработке методик расчета параметров сетей и необходимых для их фильтрации устройств подавления высших гармоник тока.

## Выводы

1. Показано, что однофазные сварочные источники питания генерируют в сеть высшие гармоники тока, ухудшая качество электроэнергии электрической сети. Особую опасность представляет генерация 3-й и кратных ей гармоник.

2. Суммарное значение коэффициента нелинейных искажений тока  $\text{THD}_I$  при работе источников питания составляет 8,7...121,5, а напряжения  $\text{THD}_U$  — 2,2...6,7 %, что свидетельствует о плохой электромагнитной совместимости однофазных сварочных источников питания.

3. Установлено, что коэффициент, учитывающий увеличение добавочных потерь от вихревых токов в оборудовании и сетях ( $K$ -фактор), равнялся 1,3...7,3, что не дает возможности однозначно отнести все однофазные сварочные источники питания к категории энергосберегающих.

4. Определена целесообразность, а в ряде случаев и необходимость применения фильтров высших гармоник тока и фильтров токов нулевой последовательности совместно с однофазными источниками питания сварочной дуги, снижающими коэффициент нелинейных искажений тока до значений 5...15 %. Для ряда источников питания требуется использование устройств компенсации реактивной мощности.

5. Установлено, что однофазные трансформаторные источники питания (сварочные трансформаторы с развитыми магнитными потоками рассеяния) и сварочные источники питания (без электронного регулирования тока), выполненные на их основе, помимо технологичности, надежности и небольшой стоимости, меньше всего влияют на сеть.

6. Показано, что наиболее широкий спектр высших гармоник тока генерируют однофазные сварочные инверторы, больше всего искажающие синусоидальную форму тока и напряжения сети,



поэтому требуется обязательное применение фильтров высших гармоник тока.

1. Paice D. A. Power electronic converter harmonics. Multipulse methods for clean power. — New York: IEEE Press, 1995. — 202 p.
2. Пентегов И. В., Волков И. В., Левин М. Устройства подавления высших гармоник тока // Технічна електродинаміка: Тем. вип. Проблеми сучасної електротехніки. — К.: ІЕД НАНУ, 2002. — Ч. 1. — С. 13–22.
3. ДСТУ ІЕЗ 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.
4. IEEE Recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems: IEEE Standard 519-1992. — New York: IEEE Standards Board, 1992. — 93 p.
5. Рымар С. В., Жерносеков А. М., Сидорец В. Н. Влияние сварочных источников питания на трехфазную электрическую сеть // Автомат. сварка. — 2011. — № 10. — С. 49–55.
6. Заруба И. И., Дыменко В. В. Многопостовые источники питания для сварки переменным током // Новые сварочные источники питания: Сб. науч. тр. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1992. — С. 63–66.
7. Пентегов И. В., Дыменко В. В., Склифос В. В. Сварочные источники питания с импульсным поджигом дуги // Автомат. сварка. — 1994. — № 7/8. — С. 36–39.
8. Сварочные источники питания с импульсной стабилизацией горения дуги / Б. Е. Патон, И. И. Заруба, В. В. Дыменко, А. Ф. Шатан. — Киев: Екотехнологія, 2007. — 248 с.
9. Пентегов И. В., Латанский В. П., Склифос В. В. Малогабаритные источники питания с улучшенными энергетическими показателями // Новые сварочные источники питания: Сб. науч. тр. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1992. — С. 66–71.
10. Пентегов И. В., Рымар С. В. Перспективы развития новых типов трансформаторов для ручной дуговой сварки // Вісн. Приазов. держ. техн. ун-ту. — 2000. — № 10. — С. 217–223.
11. Пентегов И. В., Рымар С. В., Латанский В. П. Перспективы развития новых типов трансформаторов для ручной дуговой сварки // Там само. — 2000. — № 10. — С. 217–223.
12. Сидорец В. Н., Кункин Д. Д., Москович Г. Н. Гармонический анализ переменного тока электрической сварочной дуги // Технічна електродинаміка: Тем. вип. Силовая електроніка та енергоефективність. Ч. 1. — К.: ІЕД НАНУ, 2011. — С. 219–222.
13. Патон Б. Е., Лебедев В. К. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. — М.: Машиностроение, 1966. — 360 с.
14. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. акад. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 768 с.
15. Suppression technology of electromagnetic disturbance for IGBT inverter welder / Jie-Guang Xiao, Min-Zhou Xing, Gang Xiong et al. // Dian Han Ji = Electric Welding Machine. — 2009. — 39, № 12. — P. 39–42.
16. 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. — Энергетика, 2005. — 2, № 15. — С. 15–19.
17. Шидловский А. К., Кузнецов В. Г. Повышение качества энергии в электрических сетях. — Киев: Наук. думка, 1985. — 268 с.
18. Пат. 88912 С2 Україна, МПК H01F27/24. Трифазний фільтр гармонік струмів нульової послідовності автотрансформаторного типу / І. В. Пентегов, І. В. Волков, С. В. Рymar та ін. — Оpubл. 10.12.2009, Бюл. № 23.

Harmonic composition of the electric mains was investigated in operation of single-phase welding power supplies. It is shown that the welding power supplies generate into the mains the high current harmonics, especially the triplen harmonics, thus deteriorating quality of the electric power. It is recommended to use the high harmonic filters to reduce the effect of single-phase power supplies on the electric mains.

Поступила в редакцию 15.07.2011

**Хронологічний покажчик посилань на наукові праці Бориса Євгеновича Патона / Упорядник В. М. Заліський. — К.: ІЭС им. Е. О. Патона НАН України, 2011. — 38 с.**

В последние годы в ряде стран активно создаются Национальные базы данных (БД) научного цитирования: в Японии «Citation Database for Japanese Papers», в Китае «Chinese Science Citation Database», в Польше «Polish Sociology Citation Index», в России «Российский Индекс Научного Цитирования (РИНЦ)» — новый интересный проект, стартовавший в 2005 г. и др. Особая роль Международных поисковых и оценочных инструментов принадлежит БД «Web of Science» (компания «Thomson Rienter») и «Scopus» (компания «Elsevier»).

В публикации представлена БД, охватывающая ссылки на работах отечественных и зарубежных ученых на научные труды академика Бориса Евгеньевича Патона с глубиной поиска 50 лет по электронным и традиционным ресурсам, с практически полным исключением источников корпоративного цитирования и самоцитирования. Материалы публикации отражают динамический профиль востребованности научных идей академика Б. Е. Патона — бессменного Президента НАН Украины на протяжении последних 50 лет.

Данная работа может оказаться полезной в качестве «первой ласточки» для создания новых электронных ресурсов: Атласа развития науки в Украине, рейтинга академических научных учреждений, оценки качества их научной деятельности и эффективности их финансовых затрат, а также мониторинга новых научных направлений и «точек роста» современного развития науки в Украине.

