

## ПРОБЛЕМА ВЫСШИХ ГАРМОНИК, ГЕНЕРИРУЕМЫХ СВАРОЧНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

М. В. Лукашик

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Ю. Н. Колесник

В настоящее время в электрических хозяйствах промышленных предприятий большинство сварочного оборудования выработало свой ресурс или является морально устаревшим и требует замены на современное энергоэффективное. Но, как известно, практически все современное сварочное оборудование имеет в своей конструкции значительно большее количество нелинейных элементов, а следовательно, генераторов высших гармоник. В связи с этим проблема высших гармоник в системе электроснабжения промышленных предприятий является весьма актуальной и заслуживающей внимания.

Сварка плавлением, в особенности электродуговая сварка, является основным технологическим процессом сварочного производства. На многих предприятиях широко применяются установки дуговой и контактной сварки с инверторными и выпрямительными источниками питания. Сварочные выпрямители питаются в основном от сетей 0,38 кВ. Мощность сварочных машин автоматической сварки однофазным током промышленной частоты достигает 1,5 МВА, сварки трехфазной дугой – нескольких мегавольт-ампер. В некоторых цехах машиностроительных предприятий удельный вес сварочных машин в нагрузке может достигать 80 % [1].

Успехи в развитии полупроводниковой техники в начале 50-х гг. позволили перейти к выпуску первых сварочных выпрямителей. С появлением силовых управляемых вентилей – тиристоров – стали выпускаться универсальные выпрямители, а позднее трансформаторы с электрическим фазовым управлением. С начала 80-х гг. в сварочных источниках стали использоваться силовые транзисторы, они предоставляли возможность существенного улучшения таких сварочных свойств, как характер переноса электродного металла, настройка и стабильность параметров режима. На базе управляемых вентилей (тиристоров и транзисторов) были созданы выпрямители с промежуточным высокочастотным звеном – инвертором, что позволило существенно уменьшить их массогабаритные параметры и улучшить динамические свойства источника [2].

С начала 80-х гг. вместе с началом использования силовых транзисторов ученые стали замечать, что сварочные выпрямители оказывают негативное влияние на другое электрооборудование. Один из первых экспериментов по влиянию высших гармоник был проведен в 1984 г.: его целью было установить способствуют ли высшие гармоники ускоренному старению изоляции проводов и кабелей. Для выяснения этого положения учеными были проведены замеры токов утечки кабелей, проложен-

ных почти одновременно и работающих в сходных температурных условиях; часть обследованных кабелей работала при практически синусоидальном напряжении, другая – при уровне высших гармоник в кривой напряжения в пределах 6–8,5 %, с преобладанием 5 и 7-й гармоник, кабели питали группу вентильных преобразователей. Токи утечки во втором случае через 2,5 года эксплуатации оказались в среднем на 36 %, через 3,5 года – на 43 % больше, чем в первом [3].

Для установок электродуговой сварки в качестве источника питания используются полупроводниковые выпрямители. Токи высших гармоник, генерируемые сварочными выпрямителями, различны для отдельных режимов работы сварочных установок.

В зависимости от нагрузки выпрямитель может работать в одном из трех режимов: в режиме прерывистых токов при малых нагрузках, которому соответствует двухвентильная коммутация А; в режиме средних нагрузок В; в режиме трехвентильной коммутации при больших нагрузках С.

Режим А практического значения не имеет. В режиме В уровни 5 и 7-й гармоник тока оказываются весьма нестабильными. Уровень высших гармоник тока в режиме С значительно ниже, чем в режиме В.

По своему воздействию на несинусоидальность питающей сети сварочные нагрузки можно разделить на две категории: установки дуговой и контактной электросварки переменного тока, установки дуговой электросварки постоянного тока. Установки дуговой электросварки переменного тока воздействуют на питающую сеть аналогично дуговым сталеплавильным печам. Включение сварочных машин контактной электросварки производится с помощью игнитронных или тиристорных ключей, которые для плавного регулирования сварочного тока снабжаются системами фазового регулирования угла зажигания, что приводит к искажению тока высшими гармониками, уровень которых аналогичен уровню гармоник для дуговой сварки переменного тока.

В последнее десятилетие все промышленно развитые страны стали уделять особое внимание энергосберегающим технологиям и качеству электроэнергии электрических сетей. Вызвано это тем, что в начале 90-х гг. они столкнулись с проблемой постоянного ухудшения качества электроэнергии питающих сетей, заключающейся в искажении синусоидальной формы напряжения и тока. Это незамедлительно привело к повышению потерь и понижению надежности эксплуатации электрооборудования. Такое явление вызвано увеличением количества оборудования с нелинейными трехфазными и однофазными нагрузками, которые генерируют в электрическую сеть высшие гармоники тока.

Однофазные импульсные источники питания с бестрансформаторным входом, выпрямители, инверторы, частотно-управляемые электроприводы, компьютерные системы, телекоммуникационная и офисная аппаратура, энергосберегающие лампы и другие однофазные нелинейные нагрузки из-за своей массовости привели к увеличению коэффициента нелинейных искажений (гармоник) тока THDi (Total Harmonic Current Distortion) до 90–140 %, особенно за счет генерации в сеть 3-й и кратных ей гармоник тока до 80 % (токи нулевой последовательности). Высшие гармоники тока увеличивают коэффициент нелинейных искажений напряжения THDU (Total Harmonic Voltage Distortion) сетей, доводя его до 7 % и выше.

Нелинейные нагрузки ухудшают электромагнитную совместимость, что приводит к ненадежной работе электрического и электронного оборудования, ускоренному старению изоляции, коррозии элементов заземлений, перегреву роторов и износу подшипников электродвигателей. За счет преобладания в сети 3-й и кратных ей гармоник может возникать реверсное вращение асинхронных электродвигателей и под-

горание изоляции нулевых проводов при превышении тока в нулевом проводе выше проектного уровня.

Приемлемые значения коэффициента THDU ограничены 3 % для индивидуальных нелинейных нагрузок. Допустимое значение определено 5 % для совокупных нагрузок сети. Отечественные нормативные документы допускают значение THDU до 8 %, при котором уже существенно искажается синусоидальное напряжения сети.

Значение коэффициента нелинейных искажений тока THDi при работе однофазных сварочных источников питания лежит в диапазоне 8,7–121,5, а напряжения THDU – 2,2–6,7 %, что свидетельствует о плохой электромагнитной совместимости большинства однофазных сварочных источников питания. Особенно опасна генерация 3-й и кратных ей гармоник тока.

Коэффициент, учитывающий увеличение добавочных потерь от вихревых токов в оборудовании и сетях, – K-фактор – равен 1,38–7,3 %, что не позволяет отнести все однофазные сварочные источники питания к категории энергосберегающих.

Наиболее широкий спектр высших гармоник тока генерируют однофазные сварочные инверторы, которые более всего искажают синусоидальную форму тока и напряжения сети, что требует обязательного применения фильтров высших гармоник тока.

Совместно с однофазными источниками питания сварочной дуги целесообразно применение фильтров высших гармоник тока и фильтров токов нулевой последовательности, которые снижают коэффициент нелинейных искажений тока до значений 5–15 %. Для инверторных источников и трансформаторных источников, в которых регулирование тока осуществляется тиристорами, применение фильтров необходимо. Для ряда источников питания целесообразно использование устройств компенсации реактивной мощности.

Установлено, что однофазные трансформаторные источники питания, в которых регулирование сварочного тока осуществляется самим трансформатором (без электронного регулирования тока), помимо своей технологичности, надежности и небольшой стоимости, оказывают наименьшее влияние на сеть.

Трансформаторные источники питания сварочной дуги обладают многими положительными свойствами, в частности хорошей электромагнитной совместимостью, и по праву занимают свое место на рынке сварочного оборудования. Поэтому создание источников питания сварочной дуги на основе трансформаторов необходимо развивать и совершенствовать, например, используя конденсаторные умножители напряжения, устройства стабилизации горения сварочной дуги или индуктивно-емкостную цепь.

Однофазные сварочные источники питания, в которых применяется электрическая дуга, являющаяся нелинейной нагрузкой, сварочные выпрямители и инверторы также являются генераторами высших гармоник (ВГ) тока. В связи с этим актуально уменьшение уровня гармоник тока при работе сварочного оборудования, особенно при продвижении отечественных сварочных технологий и оборудования в промышленно развитые страны [4].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что проблема высших гармоник, генерируемых сварочным оборудованием, весьма актуальна, так как на промышленных предприятиях присутствуют цеха с долей сварочной нагрузки более 50 % (например, корпус сварки и окраски ОАО «Гомсельмаш»), которые могут вносить существенный вклад в искажение кривой напряжения и тока, а также влиять на электромагнитную совместимость в целом. Поэтому в рамках данной работы планируется получить экспериментальные данные о гармониках, генерируемых различ-

ным сварочным оборудованием (контактная и дуговая сварка, сварочные инверторы) на промышленных предприятиях и выделить источники питания, которые вносят наибольший вклад в искажение питающих кривых.

#### Литература

1. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И. В. Жежеленко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.
2. Милютин, В. С. Источники питания для сварки / В. С. Милютин, М. П. Шалимов, С. М. Шанчуров. – М. : Айрис-пресс, 2007. – 376 с.
3. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И. В. Жежеленко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.
4. Электромагнитная совместимость источников питания сварочной дуги / И. В. Пентегов [и др.] // Электротехника и Электромеханика. – 2012. – № 3. – С. 34–40.