

Таким образом, исходя из анализа прогнозируемого суточного графика нагрузок энергосистемы Республики Беларусь, следует, что установка электродуховых котлов позволит повысить безопасность прохождения ночного минимума и обеспечить выравнивание графика электрической нагрузки энергосистемы.

Литература

1. Шевалдин, М. А. Перспективы развития электротранспорта в Беларуси // Энергет. стратегия. – 2016. – № 3 (51). – С. 23–24.
2. Как повлияет ввод БелАЭС на энергосистему Беларуси // Новостной портал TUT.BY. – Режим доступа: <https://news-tut-by.turbopages.org/news.tut.by/s/society/367045.html>. – Дата доступа: 20.02.2021.
3. Романцевич, Е. Установлены два электродуховых котла на РК «Рогачевская» / Е. Романцевич // Энергетика – 2021. – № 1 (452). – С. 2.

ВЛИЯНИЕ СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Е. В. Натарин

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

Научный руководитель Т. В. Алфёрова

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 мегавольтампер. В некоторых цехах машиностроительных предприятий удельный вес сварочных машин в нагрузке может достигать 80 % [1].

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 *A*; в режиме средних нагрузок *B*; в режиме трехвентильной коммутации при больших нагрузках *C*. Режим *A* практического значения не имеет. В режиме *B* уровни 5-й и 7-й гармоник тока оказываются весьма нестабильными. Уровень высших гармоник тока в режиме *C* значительно ниже, чем в режиме *B*.

По своему воздействию на несинусоидальность питающей сети сварочные нагрузки можно разделить на две категории: установки дуговой и контактной электросварки переменного тока и 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 общем случае для единичной установки электросварки переменного тока токи гармоник (рекомендуется учитывать только третью и пятую гармоники) равны:

$$I_v = S_{\text{НОМ.Т}} \cdot \beta_{\text{СВ}} \frac{\sqrt{\text{ПВ}}}{v^2 \cdot U_{\text{НОМ}}},$$

где $S_{\text{НОМ.Т}}$ – номинальная мощность трансформатора; $\beta_{\text{СВ}}$ – коэффициент загрузки; ПВ – продолжительность включения.

Определение токов гармоник, генерируемых установками дуговой электросварки постоянного тока, аналогично определению гармоник для вентильных преобразователей. Токи гармоник (рекомендуется учитывать только 5-ю, 7-ю, 11-ю, 13-ю гармоники) единичной установки дуговой электросварки постоянного тока определяются по формуле [2]:

$$I_v = \frac{I_{\text{СВ}}}{v},$$

где $I_{\text{СВ}}$ – номинальный первичный ток установки.

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. Нормально допустимые и предельно допустимые значения отклонений показателей качества электроэнергии определяются ГОСТ 32144–2013 [3].

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.

Приемлемые значения коэффициента THDU ограничены 3 % для индивидуальных нелинейных нагрузок. Допустимое значение определено в 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 находится в диапазоне 8,7–121,5, а напряжения THDU – 2,2–6,7 %, что свидетельствует о плохой электромагнитной совмести-

мости 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, К-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.

Однофазные сварочные источники питания, в которых применяется электрическая дуга, являющаяся нелинейной нагрузкой, сварочные выпрямители и инверторы – генераторы высших гармоник (ВГ) тока. В связи с этим актуально уменьшение уровня гармоник тока при работе сварочного оборудования [4].

Инверторные источники питания сварочной дуги обладают малыми габаритами и массой, обеспечивают высокое качество сварных соединений, позволяют формировать необходимую вольт-амперную характеристику, потребляют небольшую мощность, имеют возможность дистанционного управления; в конструкции аппаратов применяется двойная изоляция, обеспечивающая электробезопасность. Однако эти аппараты остаются по-прежнему достаточно дорогими, ненадежными в эксплуатации и требуют наличия сервисных центров с высококвалифицированным персоналом.

В [4] было проведено исследование инверторного источника питания ВДИ-L-200, предназначенного для ручной дуговой сварки низкоуглеродистых сталей и цветных металлов любыми видами электродов. ВДИ-L-200 питается от однофазной сети переменного тока частотой 50 Гц.

Для инверторного источника питания ВДИ-L-200 была получена диаграмма гармонического состава тока и напряжения, приведенная на рис. 1.

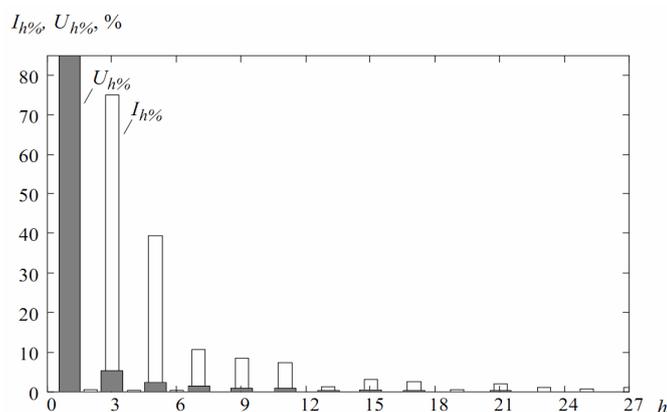


Рис. 1. Гармонический состав тока и напряжения однофазного инверторного источника питания ВДИ-L-200

Из анализа рис. 1 следует вывод, что 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 %. Нечетные гармоники напряжения, превосходящие 1 %: 3-я – 5,2 %, 5-я – 2,2 %, 7-я – 1,4 %. Коэффициенты нелинейных искажений тока и напряжения данного источника питания равны: $THDi = 86,4\%$, $THDU = 5,9\%$.

Несмотря на все свои преимущества, сварочные инверторы генерируют в сеть наиболее широкий спектр гармонических составляющих тока и существенно искажают синусоидальную кривую тока и напряжения. Также они создают радиопомехи. Это свидетельствует об их плохой электромагнитной совместимости.

Отрицательным влиянием однофазных сварочных источников питания для сетей в отличие от трехфазных источников является то, что они значительно загружают нулевой провод высшими гармониками тока нулевой последовательности, не предназначенный для больших нагрузок.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что проблема высших гармоник, генерируемых сварочным оборудованием, весьма актуальна, так как на предприятиях Гомельской области присутствуют цеха с долей сварочной нагрузки более 50 %, которые могут вносить существенный вклад в искажение кривой напряжения и тока, а также влиять на электромагнитную совместимость в целом.

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.

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. Источники гармонических составляющих. – Режим доступа <http://esis-kgu.ru/ems/360-ems>. – Дата доступа: 10.04.2021.
3. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (EN 50160–2010, NEQ). – М. : Стандартинформ, 2014.
4. Электромагнитная совместимость источников питания сварочной дуги / И. В. Пентегов [и др.] // Электротехника и электромеханика. – 2012. – № 3. – С. 34–40.

ВЫБОР ПРИНЦИПОВ И МЕТОДОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ШИНАХ 6 И 10 кВ ПОДСТАНЦИИ «ЦЕНТРОЛИТ» В СВЯЗИ С РЕКОНСТРУКЦИЕЙ

П. К. Шитиков

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

Научный руководитель П. В. Лычѐв

При реконструкции подстанции (ПС) кроме существующих секций 6 кВ появятся новые секции 10 кВ, которые будут постепенно нагружаться в процессе перевода части действующих потребителей на напряжение 10 кВ и подключения новых потребителей. На ПС после реконструкции будет установлено 2 силовых трехобмоточных трансформатора ТДТН-25000/110/10/6 с РПН в нейтрали ВН с возможностью регулирования напряжения $\pm 9 \cdot 1,78 \%$. Также на стороне 10 кВ будут установлены регулировочные трансформаторы ТМНЛ – 16000/10, выполняющие продольное регулирование напряжения, с возможностью регулирования напряжения $\pm 10 \cdot 1,5 \%$. Установка нескольких средств регулирования напряжения позволит обеспечить независимое регулирование напряжения на шинах 6 и 10 кВ, что важно, когда шины 10 кВ загружены слабо по отношению к шинам 6 кВ.