

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ И ЧИСЛА ФАЗ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКИ РЕЛЬСОВ

С.И. КУЧУК-ЯЦЕНКО, П.М. РУДЕНКО, В.С. ГАВРИШ, А.В. ДИДКОВСКИЙ, Е.В. АНТИПИН  
ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail:office@paton.kiev.ua

Целью работы является экспериментальная проверка возможности применения тиристорного преобразователя частоты с непосредственной связью на 37,5 Гц для питания двухфазной контактной стыковой машины от трехфазной сети для равномерной ее загрузки. Для экспериментальной проверки и испытаний был создан преобразователь по схеме с двумя трехфазными двухполупериодными управляемыми выпрямителями, включенными встречно-параллельно. Производственные испытания были проведены при сварке рельсов Р65 непрерывным и пульсирующим оплавлением в течение двух лет на рельсосварочном предприятии. Было установлено, что качество полученных сварных стыков соответствует техническим условиям. Анализ графиков изменения действующих значений токов фаз показал, что различие этих значений не превысило  $\pm 2\%$ . При этом фазные токи были меньше на 20 % тока в нагрузке. Таким образом, опытно-промышленные испытания преобразователя частоты на 37,5 Гц показали его возможность и целесообразность применения для контактной сварки оплавлением, в частности, железнодорожных рельсов за счет равномерной загрузки трехфазной электрической сети. При этом эффективность использования преобразователя можно значительно повысить применив его в контактных машинах силового трансформатора, рассчитанного на 37,5 Гц. Библиогр. 7, рис. 3.

*Ключевые слова:* контактная стыковая сварка рельсов, тиристорный преобразователь частоты, равномерная загрузка трехфазной электрической сети

Для контактной стыковой сварки железнодорожных рельсов применяются стационарные и подвижные сварочные машины, которые имеют в основном две различные схемы электрического питания [1, 2]: от однофазной (двухфазной) сети переменного тока частотой 50 Гц (60 Гц); от трехфазной сети и источника выпрямленного напряжения.

Однофазные (двухфазные) машины имеют самую простую и дешевую схему питания. Машины с выпрямителем во вторичной цепи значительно более сложные и дорогостоящие как при изготовлении, так и эксплуатации [3]. Они имеют меньший к.п.д. из-за значительных потерь на выпрямителе во вторичном контуре, но за счет потребления электроэнергии от трех фаз они превосходят машины переменного тока по показателям обеспечения качества используемой электрической сети (ГОСТ 13109–97). Для обеспечения этого важного в настоящее время показателя в машинах переменного тока может быть применен преобразователь частоты и числа фаз с непосредственной связью (далее — преобразователь).

В работах [1, 2] было показано, что такие преобразователи низкой частоты (приблизительно несколько герц) нашли применение при контактной сварке и впервые были разработаны фирмой «Сиаки». Однако этот преобразователь должен работать со сварочным трансформатором, который имеет многократно увеличенный вес и размеры по сравнению с машинами промышленной частоты, и не мо-

жет быть использован для питания существующих однофазных контактных машин на 50 Гц.

В работе [1] показано, что преобразователь с непосредственной связью может быть применен для питания однофазных контактных машин, если частота напряжения на его выходе будет повышена до 30 Гц, а величина напряжения будет снижена [2]. Известно, что преобразователь частоты и числа фаз с непосредственной связью может формировать напряжения только определенных частот. В работе [4] показано, что кроме частоты 30 Гц для питания контактных машин может быть использован преобразователь с выходным напряжением 37,5 Гц. Повышение частоты выходного напряжения улучшает условия его использования для сварочных трансформаторов промышленной частоты, в частности, требование снижения величины формируемого напряжения и, главное, достижения равномерной загрузки фаз.

Целью работы является экспериментальная проверка возможности применения тиристорного преобразователя частоты с непосредственной связью на 37,5 Гц для питания двухфазной контактной стыковой машины от трехфазной сети для равномерной ее загрузки.

При контактной сварке оплавлением рельсов используется технология с программным изменением основных параметров, в том числе напряжения между торцами свариваемых деталей, которое равно напряжению на выходе сварочного трансформатора [5]. Поскольку минимальное напря-



жение при котором возможно устойчивое оплавление, зависит от нагрева свариваемых деталей, в начале сварки требуется высокое напряжение и практически такое же напряжение необходимо на завершающем этапе сварки. Таким образом, интервалы времени работы трансформатора с повышенным напряжением составляют 10...30 % от общей длительности сварки и тепловые потери в трансформаторе возрастают незначительно.

Существует также большая вероятность резкого увеличения нагрузки на силовую электрическую сеть питания. Это связано с тем, что уменьшение частоты приводит к увеличению рабочей индукции, которая может достигнуть индукции насыщения, а намагничивающий ток — очень больших значений в соответствии с нелинейностью кривой намагничивания для трансформаторных сталей. В этом случае даже кратковременное увеличение тока питания сварочной машины может привести к аварийному отключению ее автоматом защиты. Поэтому использование в преобразователе частоты 37,5 Гц по сравнению с частотой 30 Гц является предпочтительней.

Для экспериментальной проверки и испытаний преобразователь с выходным напряжением с частотой 37,5 Гц был разработан и собран по схеме с двумя трехфазными двухполупериодными управляемыми выпрямителями, включенными встречно-параллельно [4, 6, 7]. Он рассчитан на номинальное выходное напряжение 400 В, номинальный ток 1000 А при ПВ 100 %.

В состав преобразователя частоты входят блок тиристорных выпрямителей, блок включения тиристоров, блок защиты тиристоров, компьютерная система управления и датчики фазных токов  $I_A, I_B, I_C$ , сварочного тока  $I_{св}$ , напряжения на выходе преобразователя  $U_{св}$  и температуры корпусов тиристоров  $T, ^\circ\text{C}$  (рис. 1). Блок защиты тиристоров осуществляет контроль величины фазных токов и при значениях более 1500 А отключает цепи управления от входа блока включения тиристоров. Время срабатывания защиты 2 мс. Однако включенный тиристор невозможно мгновенно отключить по цепи управления. Поэтому для защиты

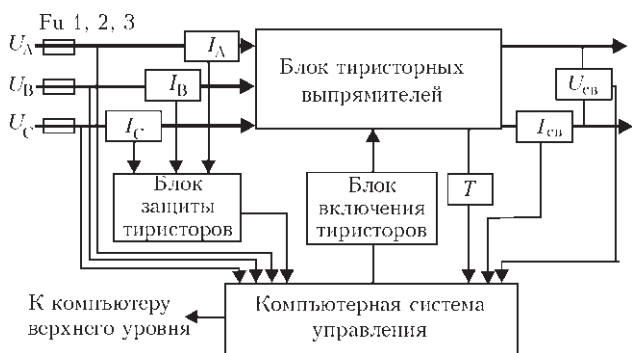


Рис. 1. Структурная схема преобразователя

тиристоров также применяются быстродействующие предохранители Fu 1, 2, 3.

Система управления преобразователем (КСУ КС ПЧ) с частотой 75 Гц измеряет сварочный ток, т.е. величину тока в каждом отдельном импульсе. Это значение используется для расчета сигнала управления скоростью подачи подвижной колонны сварочной машины. Кроме того, КСУ КС ПЧ также измеряет напряжение на выходе преобразователя частоты и стабилизирует заданное значение напряжения, контролирует температуру тиристорных силовых выпрямителей и при превышении допустимого значения останавливает сварку.

Диапазоны измерения сварочного тока — 10...1000 и 200...2000 А, диапазон задания напряжения на выходе преобразователя — 200...400 В, приведенная погрешность измерения сварочного тока и стабилизации напряжения — менее 3 %, скорость передачи данных по последовательно-му каналу — 19600 бод. Последовательный канал связи используется для увязки системы управления преобразователя с системой управления верхнего уровня сварочной машины — приема величины заданного напряжения и передачи измеренного тока и диагностических сообщений.

Система управления верхнего уровня собрана на основе промышленного контроллера СИМЕНС SIMATIC S7-300 с процессором CPU314C-2 PtP. Основной функцией этой системы является контроль процесса сварки в реальном времени и управление по заданной циклограмме.

Для оценки необходимого снижения величины выходного напряжения преобразователя была исследована характеристика тока холостого хода сварочного трансформатора контактной машины К-1000. Из-за эффекта насыщения сварочного трансформатора при пониженной частоте напряжения питания ток холостого хода значительно растет (рис. 2), что приводит к большому перегреву первичной цепи сварочного трансформатора и силовых проводов сварочной машины и может привести к преждевременному их износу

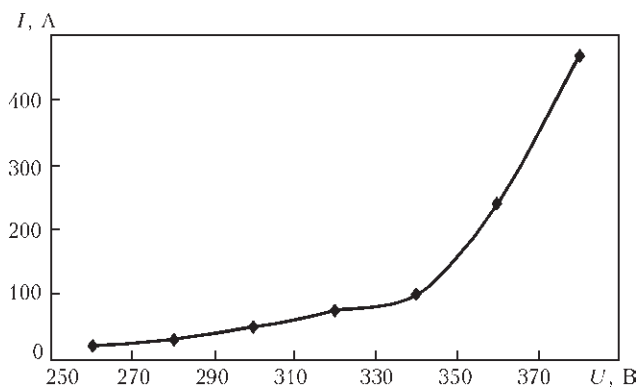


Рис. 2. Зависимость тока холостого хода от входного напряжения для сварочных трансформаторов машин К1000 при питании от преобразователя частоты  $f = 37,5$  Гц

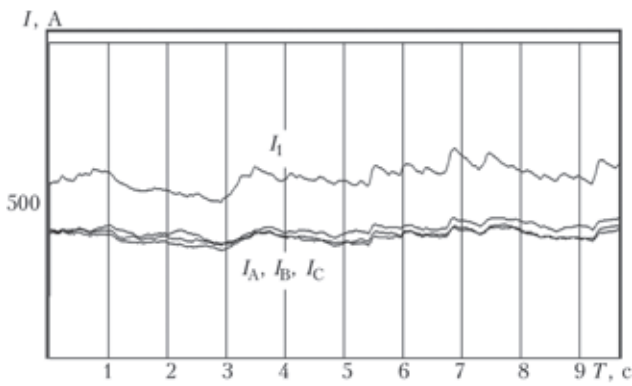


Рис. 3. Осциллограммы токов в фазах А, В, С  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  и тока в первичной цепи сварочного трансформатора  $I_1$  при сварке рельсов на машине К-1000 с использованием преобразователя частоты и числа фаз

и аварии. В дальнейших испытаниях при сварке образцов и натуральных изделий напряжение задавали до 340 В. Так как максимальное эффективное напряжение на выходе преобразователя при его питании от сети 380 В составляет 416 В, для его снижения был использован автотрансформатор машины К-1000.

Преобразователь прошел производственные испытания при сварке рельсов в течение почти двух лет на рельсосварочном предприятии. Была отработана технология сварки рельсов Р65 непрерывным и пульсирующим оплавлением. При этом был осуществлен подбор режимов и сварка образцов новых и старогодных отремонтированных рельсов из стали М76 производства комбината «Азовсталь» и старогодных отремонтированных рельсов Э76Ф производства «Евраз» НТМК (Нижнетагильский металлургический завод, РФ). Качество сварки контролировали путем механических испытаний на статический трехточечный изгиб образцов сварных стыков по показателям прочности и пластичности, а также методом ультразвуковой дефектоскопии, согласно утвержденным нормативным документам Украины. Было установлено, что качество полученных сварных стыков соответствует техническим условиям ТУ У 27.1-000334045-1353:2007. При этом надежность преобразователя отвечает промышленным условиям. На завершающем этапе испытаний осуществлялась сварка плетей, которые были установлены в главный путь железной дороги. Как в первом, так и во втором случае качество сварных изделий соответствовало техническим требованиям для них.

Для оценки равномерности загрузки фаз трехфазной электрической сети была выполнена непрерывная регистрация фазных токов с частотой выборки 128 измерений за период сети с помощью измерительного комплекса SATEK EDL

175XR N822584. При этом использовали датчики тока FLUKE i3000s flex, которые были подключены на фазах кабельного ввода 0,4 кВ шкафа сварочной машины. Анализ графиков изменения действующих значений токов фаз показал, что различие этих значений токов фаз не превысило  $\pm 2\%$ . При этом фазные токи были меньше на 20 % тока в нагрузке (на выходе источника) (рис. 3), что, в свою очередь, дает возможность: уменьшить нагрузку на трансформатор силовой подстанции по каждой фазе и за счет этого увеличить срок его эксплуатации до ремонта; подключить дополнительных потребителей электрической энергии без увеличения мощности силового трансформатора подстанции; исключить перекося фазных напряжений и улучшить условия работы трехфазных электрических приборов и, в первую очередь, асинхронных двигателей, что увеличивает срок их эксплуатации; улучшить качество потребляемой электроэнергии.

### Выводы

1. Опытно-промышленные испытания преобразователя частоты на 37,5 Гц показали возможность и целесообразность его применения для контактной сварки оплавлением, в частности, железнодорожных рельсов за счет равномерной загрузки трехфазной электрической сети.

2. Эффективность использования преобразователя можно значительно повысить при использовании в контактных машинах силового трансформатора, рассчитанного на 37,5 Гц.

1. Лебедев В.К., Письменный А.А. Системы питания машин для контактной сварки // Автомат. сварка. – 2001. – № 11. – С. 32–36.
2. Лебедев В.К., Письменный А.А. Совершенствование систем питания машин для контактной сварки сопротивлением // Сварка и родственные технологии – в XXI век. – Киев, 1998. – С.130–136.
3. Сравнительная оценка энергетических и технологических показателей при контактной стыковой сварке непрерывным оплавлением толстостенных деталей на постоянном и переменном токе / С.И. Кучук-Яценко, П.М. Руденко, В.С. Гавриш, К.В. Гуцин // Автомат. сварка. – 2015. – № 1. – С. 15–21.
4. Руденко П.М., Гавриш В.С. Тиристорный преобразователь с непосредственной связью для питания контактных машин // Там же. – 2013. – № 8. – С. 55–58.
5. Кучук-Яценко С.И., Лебедев В.К. Контактная стыковая сварка оплавлением. – Киев: Наук. думка, 1976. – 214 с.
6. Пат. № 86279 Україна, МПК В 23 К 11/24. Спосіб електричного живлення однофазних контактних машин змінного струму / С.И. Кучук-Яценко, В.С. Гавриш, П.М. Руденко та ін. – Опубл. 10.04.2009, Бюл, № 7.
7. Пат. № 100064, Україна, МПК В 23 К 11/24. Спосіб електричного живлення зварювального трансформатора однофазних контактних машин змінного струму / С.И. Кучук-Яценко, В.С. Гавриш, П.М. Руденко та ін. – Опубл. 12.11.2012; Бюл. № 21.

Поступила в редакцию 04.03.2015