

ЦЕНОВЫЕ АСПЕКТЫ ВЫБОРА КОМПЕНСАТОРА НЕАКТИВНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ МОЩНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С КОНТАКТНЫМИ СВАРОЧНЫМИ МАШИНАМИ

Е.С. Глибин, А.А. Шевцов¹

Тольяттинский государственный университет
445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14

Рассматривается влияние работы контактных сварочных машин на питающую сеть, а также спектральный состав потребляемого из сети контактной сварочной машиной МПТУ-300 тока. Предложено совместное использование в составе компенсирующего устройства модуля полупроводникового компенсатора и компенсатора на базе конденсаторных батарей. Проведено моделирование работы результирующего компенсирующего устройства в системе SIMULINK. Сделаны выводы о снижении стоимости компенсирующего устройства при использовании предлагаемого комбинирования отдельных компенсаторов при сохранении качества компенсации.

Ключевые слова: энергосбережение, сварка.

Широкое распространение и развитие в авто-, судо-, авиастроении и других отраслях промышленности получила контактная сварка. В настоящее время производство примерно 30% общего объема сварных конструкций в мире осуществляется контактными сварочными машинами, а в кузовостроении контактная сварка занимает лидирующее положение, и ее способами выполняется 75% общего объема сварочных работ. Из способов контактной сварки наибольшее применение имеет точечная сварка – основной способ соединения внахлестку штампованных конструкций кузова. Так, например, кузов автомобиля ГАЗ-3110 «Волга» состоит из 256 элементов, которые соединены между собой в 8800-х точках и рельефах, что составляет 81% общего объема его сварки [1].

Такое распространение контактной сварки обуславливается ее достоинствами, и доля контактной сварки в производстве будет расти.

В настоящее время существуют две проблемы, связанные с применением контактной сварки. Первая – снижение вероятности появления дефектных соединений, решаемая путем созданием более эффективных систем автоматического управления. Вторая – повышение энергетических показателей мощных машин, решаемая разработкой более совершенных преобразователей, повышающих КПД и коэффициент мощности.

Существует целый ряд проблем, связанных с качеством электроэнергии, которые носят системный характер, – старение основного энергетического оборудования, технологическая отсталость, неэффективное использование установленных генерирующих мощностей [2].

Современные контактные машины как электротехнологическое оборудование являются неблагоприятными потребителями электрической энергии в силу значительного потребления реактивной мощности, несинусоидальности кривой потребляемого тока [3]. Предварительные исследования показали, что коэффициент мощ-

¹ Глибин Евгений Сергеевич – аспирант.

Шевцов Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент.

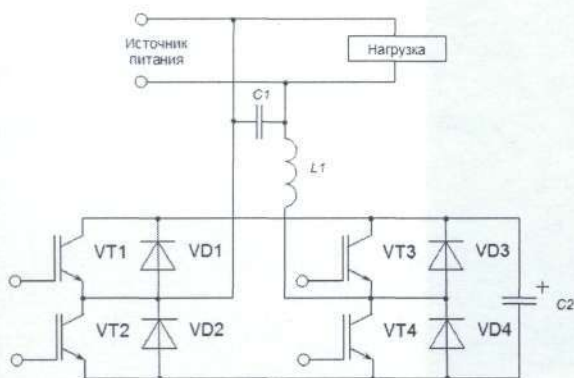
ности контактных машин обычно не превышает 0,75-0,8 в лучшем случае, а зачастую он меньше 0,6. Основной мерой по повышению качества электроэнергии является компенсация неактивных составляющих полной мощности; как правило, применяются специальные компенсирующие устройства, являющиеся источниками реактивной энергии ёмкостного характера. Таким образом, видится возможным снижение энергопотребления контактных машин на 20-40% при тех же установленных мощностях.

Универсальными устройствами для повышения качества питающей сети являются полупроводниковые компенсаторы, в зарубежной литературе все чаще именуемые «динамическими». Их достоинства:

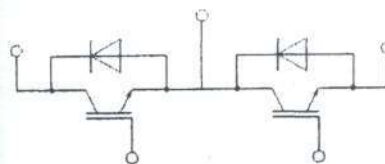
- отсутствие вращающихся частей;
- относительная плавность регулирования реактивной мощности, выдаваемой в сеть;
- возможность трёх- и четырёхкратной перегрузки по реактивной мощности;
- высокое быстродействие;
- компенсация высших гармонических составляющих.

Однако с увеличением максимального тока, на который рассчитаны приборы, их цена увеличивается, а сложность управления возрастает, поскольку требуется учитывать особенности работы полупроводниковых приборов в силовых режимах.

Для иллюстрации рассмотрим типичную схему силовой части такого устройства, представляющую собой мостовое соединение полупроводниковых приборов, например, IGBT-транзисторов (рис. 1).



Р и с. 1. Типовая схема силовой части статического полупроводникового компенсатора неактивных составляющих полной мощности



Р и с. 2. Электрическая схема модулей CM50DY-12H ... CM300DY-12H

В качестве плеч схемы могут использоваться готовые модули двух последовательно соединенных IGBT-транзисторов марок CM50DY-12H ... CM300DY-12H производителя Mitsubishi Electric, принадлежащих одной серии, рассчитанные на 600 В и разные токи коллектора (рис. 2).

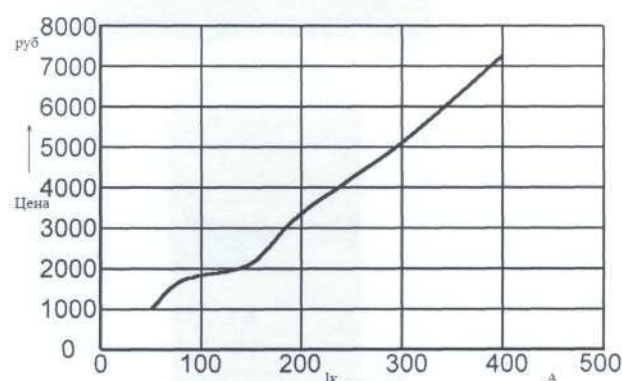
Для ориентировочной оценки стоимости таких компенсаторов рассмотрим примерные розничные цены на июнь 2008 года, показанные в табл. 1. Из графика на

рис. 3 наглядно видно увеличение стоимости модулей, пропорциональное их рабочему току.

Т а б л и ц а 1

**Соотношение номинального тока и цены IGBT-модулей Mitsubishi Electric
одинаковой серии**

Марка (600 В)	Ток коллектора, А	Примерная цена, руб.
CM50DY-12H	50	1020
CM75DY-12H	75	1630
CM100DY-12H	100	1840
CM150DY-12H	150	2133
CM200DY-12H	200	3348
CM300DY-12H	300	5103
CM400DY-12H	400	7263



Р и с. 3. График зависимости цены IGBT модуля от максимального
коллекторного тока

Проведем сравнение с другим вариантом компенсирующих устройств – устройствами на основе конденсаторной батареи, подобными, например, описанным в [4]. Несмотря на сравнительную простоту конструкции и относительно низкую стоимость, использование таких компенсаторов в сетях с искаженной формой питающего напряжения приводит к несинусоидальности потребляемого конденсатором из сети тока, что, в свою очередь, обогащает гармонический состав тока, потребляемого из сети системой «нагрузка – компенсатор», высшими гармониками.

Например, если осуществлять компенсацию реактивной мощности, потребляемой первой гармоникой сварочной установки дуговой сварки при ее питании из сети, напряжение в которой отличается от синусоидального, то можно видеть, что спектральный состав обогатился пятой и седьмой гармониками. Аналогичная ситуация складывается в том числе и для контактной сварки.

Таким образом, полупроводниковые компенсаторы, обладая универсальностью, увеличивают свою стоимость пропорционально росту компенсационного тока, а конденсаторные компенсаторы, обладая невысоким быстродействием, выполняют компенсацию реактивной мощности только по первой гармонике, а в некоторых случаях и дополнительно обогащают гармонический состав сетевого тока.

Представляется целесообразным сочетать одновременное использование и динамических компенсаторов, и конденсаторных компенсирующих устройств.

Для предварительного изучения вопроса в системе Simulink создана имитационная модель совместного использования вышеуказанных компенсирующих устройств, показанная на рис. 4.



Р и с. 4. Модель компенсирующей системы в программе Simulink

При этом в качестве нагрузки выступал источник тока, имитирующий потребляемый сварочной установкой ток. В имитационной модели использованы энергетические характеристики машины контактной сварки МПТУ-300, рассмотренные в [5]. Питание осуществлялось источником напряжения, форма которого совпадала с сетевым в момент экспериментов. Компенсационный ток статического компенсатора вычислялся по закону, описанному в [6].

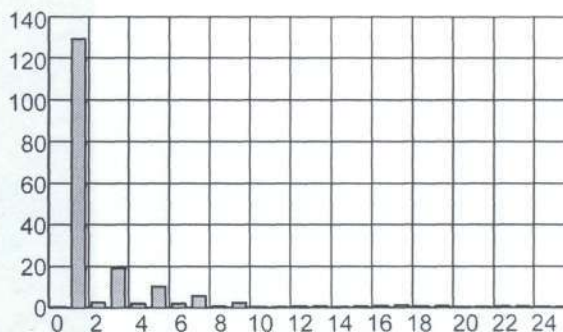
Конденсаторный компенсатор в этой модели представлен идеальным конденсатором и последовательно включенным с ним резистором, имитирующим потери в конденсаторе (тангенс угла диэлектрических потерь). При этом выбрана последовательная схема замещения реального конденсатора. Моделирование проводилось исходя из предположений, что источник напряжения является идеальным.

Спектральный анализ кривой потребляемого сварочной установкой тока позволил получить представленный на рис. 5 спектр кривой тока в установившемся режиме работы компенсатора.

Видно, что доминируют первая, третья и пятая гармоники.

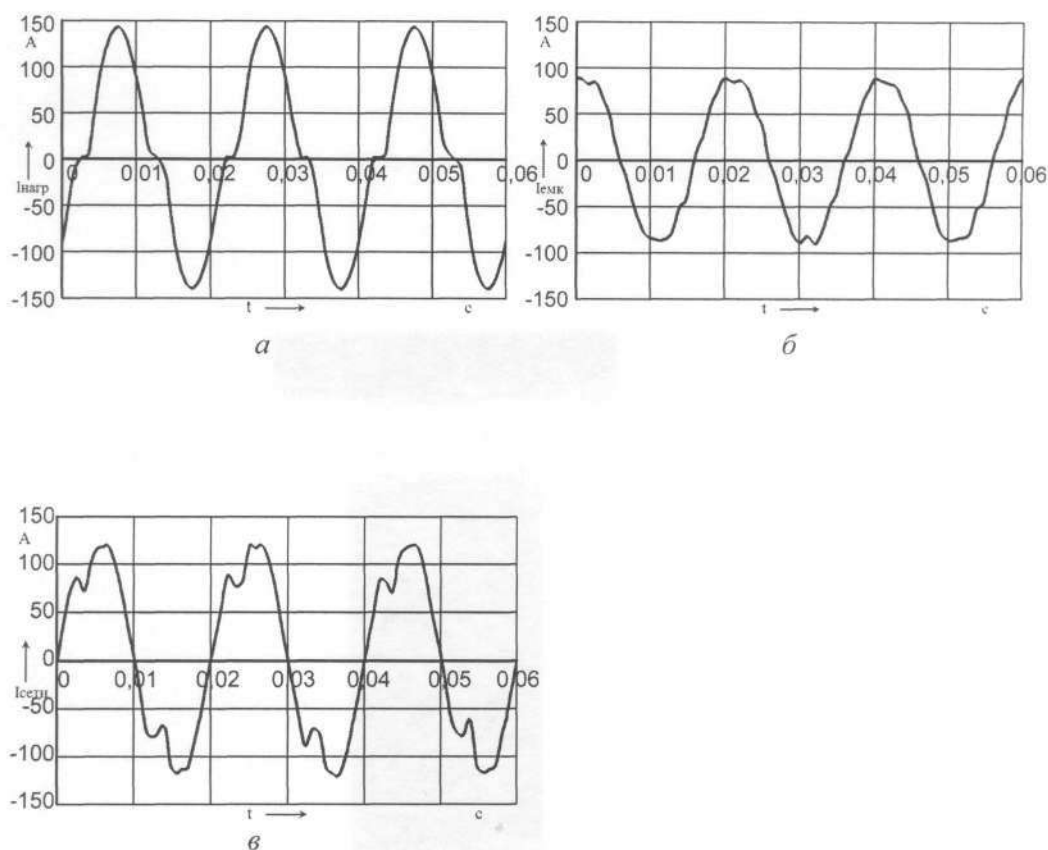
Емкость компенсационного конденсатора C рассчитывается исходя из условия компенсации реактивной мощности, потребляемой сварочной установкой по первой гармонике. Кривые токов нагрузки, компенсатора и суммарного тока, потребляемого от источника напряжения, полученные в результате работы модели, показаны на рис. 6.

Для получения заданной емкости компенсационного конденсатора на практике, как правило, используют группу параллельно соединенных конденсаторов, что необходимо учитывать при определении ориентировочной стоимости установки.



Р и с. 5. Спектральный состав тока, потребляемого КСМ МПТУ-300

В табл. 2 приведены примерные цены батарей конденсаторов марки К75-40Б 750 В 100 мкФ с учетом средней оптовой цены одного такого конденсатора на июль 2008 года в 800 рублей.



Р и с. 6. Временные диаграммы работы емкостного компенсатора на источник питания КСМ МПТУ-300 при угле отпирания тириستоров 79° и сварочном токе 8500 А:
а – график тока нагрузки; б – график тока емкостного компенсатора; в – график тока, потребляемого из сети

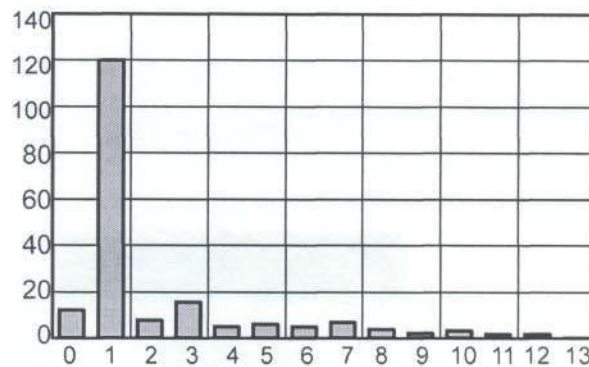
Таблица 2
Соотношение тока и цены требуемых конденсаторных батарей

Ток первой гармоники ($\cos \varphi = 0,79$), А	С, мкФ	Стоимость
50	206.45	2400
75	309.675	3200
100	412.9	4000
150	619.35	5600
200	825.8	7200
300	1238.7	10400
400	1651.6	13600

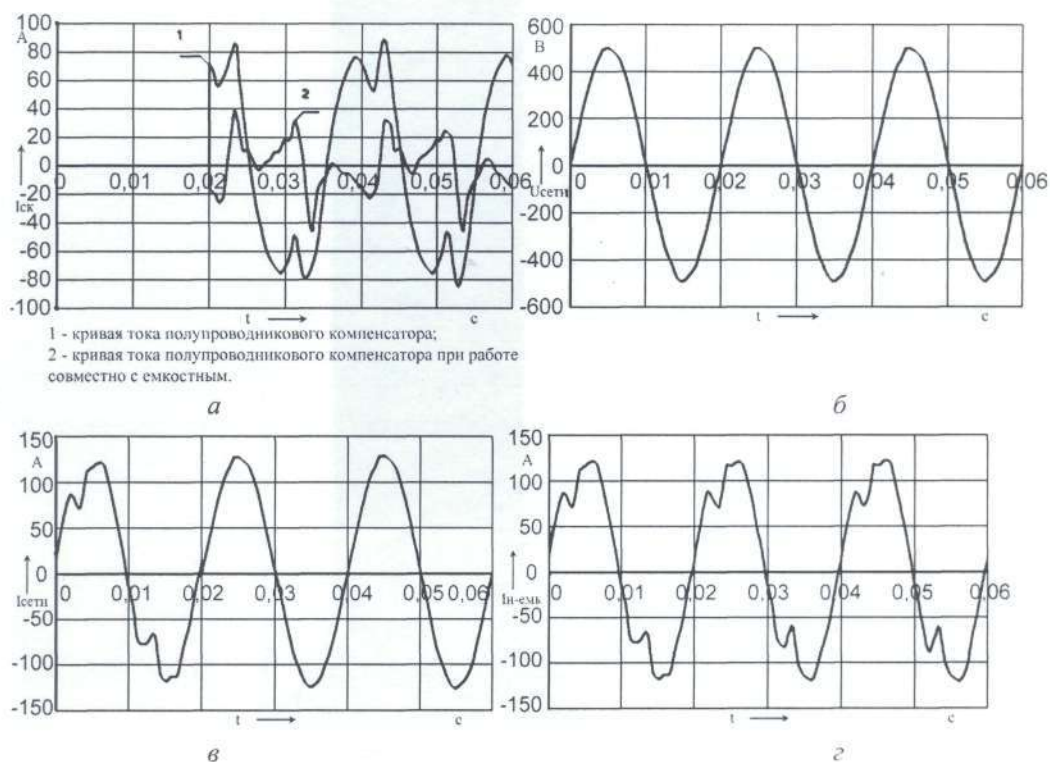
Если сравнивать ориентировочные стоимости емкостного компенсатора и полупроводникового компенсатора на основе данных, приведенных в табл. 1 и 2, то вид-

но, что стоимость емкостного компенсатора примерно в два раза ниже стоимости полупроводникового компенсатора на тот же ток нагрузки.

Рассмотрим спектр кривой тока, потребляемого из сети системой «контактная сварочная установка – конденсаторный компенсатор», полученный в результате работы имитационной модели, приведенной на рис. 7. Видно, что увеличились абсолютные значения четных гармоник.



Р и с. 7. Спектральный состав тока, потребляемого контактной сварочной машиной при использовании емкостной компенсации



Р и с. 8. Временные диаграммы работы компенсатора:

а – график тока компенсатора; *б* – график сетевого напряжения; *в* – график тока, потребляемого из сети; *г* – график тока системы «емкостной компенсатор – нагрузка»

Если же компенсационный ток будет обеспечиваться полупроводниковым компенсатором, то кривые токов в этом случае будут выглядеть, как показано на рис. 8, *а*, кривая 1.

Если теперь одновременно с конденсаторным компенсатором включить полупроводниковый, то кривые токов в образовавшейся системе будут выглядеть так, как показано на рис. 8, б-г. Видно, что при использовании конденсаторного компенсатора ток статического компенсатора меньше в 2,5 раза. В соответствии с зависимостью цены и номинального тока (рис. 3) это позволит снизить стоимость силовой части полупроводникового компенсатора.

При этом кривая тока, потребляемого из сети системой «сварочный источник питания – конденсаторный компенсатор – статический компенсатор», как видно из рисунка, синусоидален, а его действующее значение примерно в 1,2 раза меньше, чем до компенсации.

Таким образом, имитационное моделирование показывает, что совместное использование статического и конденсаторного компенсаторов позволяет эффективно компенсировать неактивные составляющие полной мощности и при этом снизить стоимость всей компенсационной системы за счет комплектующих, рассчитанных на меньшие токи, а, следовательно, более дешевых.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Синельников А.Ф., Лосавио С.К., Синельников Р.А. Ремонт аварийных кузовов легковых автомобилей отечественного и иностранного производства. – М.: Транспорт, 2001. – 334 с.
2. Российская бизнес-газета №428 от 30 сентября 2003 г.
3. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – М.: Энергоатомиздат, 2004.
4. Energy characteristics of the power source-welding arc system / A.V. Agunov, M.V. Agunov, G.M. Korotkova, V.I. Stolbov, A.A. Shevtsov // Welding international 2002 16(12) pp. 966-969.
5. Шевцов А.А., Климов А.С., Глибин Е.С. Сравнение работы компенсирующих устройств на источники питания дуговой и контактной сварки // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования: Матер. третьей междунар. науч.-техн. конф. Т. 2. – Вологда: ВоГТУ, 2007. С. 150 – 154.
6. Агунов М.В. Энергетически процессы в электрических цепях с несинусоидальными режимами и их эффективность. – Кишинев-Тольятти: МолдНИИТЭИ, 1997. – 84 с.

Статья поступила в редакцию 25 августа 2008 г.

UDC 621.313

THE PRICE-BASED ASPECTS OF NON-ACTIVE POWER COMPENSATOR SELECTION FOR CONTACT WELDING

E.S. Glibin, A.A. Shevtsov¹

*Togliatti State University,
14, Belorusskaya. Togliatti, 445667*

This paper is devoted to consideration of influence of work contact welding machines on a power line. Sharing in structure of the compensating device of the module of the static compensator and compensator baseds on condenser batteries is offered. Modelling work the compensating device in system SIMULINK is lead. Are drawn conclusions on deprecication of the compensating device at use of an offered combination of separate compensators at preservation of quality of compensation.

Key words: *energy-savings, welding.*

¹ *Evgeniy S. Glibin – Postgraduate student.*

Aleksandr A. Shevtsov – Candidate of Technical Sciences, Associate professor.