

УДК 621.791

Гулаков С. В., Бурлака В. В., Бублик С. К., Дьяченко М. Д.

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ПОМЕХ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ СВАРОЧНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ПИТАНИЯ

Современная экономика одной из основных задач перед предприятиями, эксплуатирующими сварочное оборудование, ставит задачу обеспечения продукции с надлежащими технико-экономическими показателями. Одним из показателей качества сварных изделий является их стоимость, которая зависит от многих факторов, в том числе и от стоимости потребляемой электроэнергии.

Как известно, сварочное оборудование является источником помех, генерируемых в питающую сеть. Во многих государствах качество электроэнергии строго нормируется, а его ухудшение всячески пресекается, в том числе и с применением штрафных санкций. В странах СНГ качество электроэнергии нормируется ГОСТ 13109-97, где установлены нормально допустимые и максимально допустимые уровни коэффициента искажения синусоидальности напряжения.

В источниках питания установок электродуговой сварки функции выпрямления и регулирования часто реализуются с применением тиристоров. При этом спектральный состав потребляемого тока зависит от режима работы установки; наиболее выражены 5, 7, 11, 13-я гармоники [1, 2].

Таким образом, задача повышения экономических показателей сварочного производства включает в себя также и задачу снижения уровня помех, генерируемых сварочными источниками питания.

Целью работы является изучение факторов возникновения и методов снижения уровня помех, генерируемых сварочными установками.

Однофазные машины контактной сварки с тиристорным регулированием, питающиеся от линейного напряжения, имеют значительный потребляемый ток при циклическом характере включения. Их работа приводит к возникновению несимметрии питающей сети, искажению формы кривой напряжения и его колебаний. На рис. 1 приведена зависимость коэффициента гармоник (КГ) тока от режима работы машины контактной сварки (угла управления регулятора). Видно, что КГ тока превышает 60 % при углах управления выше 90 °.

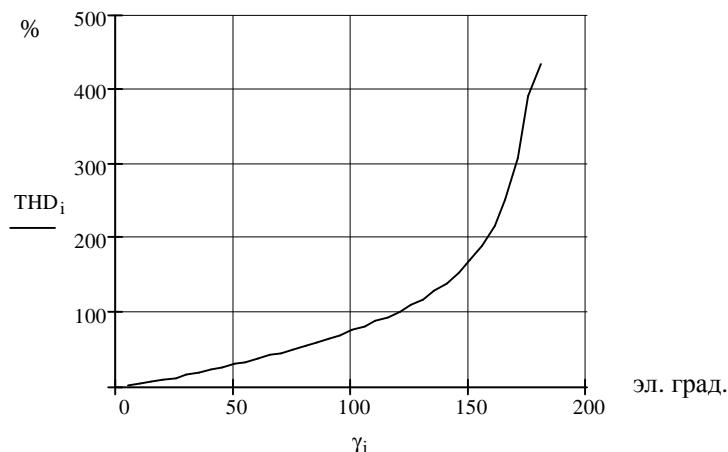


Рис. 1. Зависимость коэффициента гармоник тока (ТНД_i) от угла управления γ для контактной машины с тиристорным регулированием тока сварочной цепи

Источники, в которых регулирование сварочного тока производится с помощью дросселя с подмагничиванием, отличаются большой потребляемой реактивной мощностью. Все названные проблемы приводят к необходимости поиска путей улучшения качества сети и снижения негативного влияния на нее нелинейных нагрузок, к которым относится большинство сварочных источников питания.

Повышение качества напряжения питающей сети производится путем установки пассивных фильтров высших гармоник или активных фильтров (АФ) [2].

Применение пассивных фильтров для коррекции качества электроэнергии вызывает необходимость настройки на строго определенную частоту (частоты) высших гармоник, громоздкость, зависимость от параметров сети и нагрузки. Пассивные фильтры, устанавливаемые последовательно с нагрузкой, влияют на общее сопротивление, что, в свою очередь, ведет к ухудшению качества электроэнергии. Кроме того, резонансные пассивные фильтры во многом влияют на устойчивость энергосистемы.

Последовательные АФ, образованные трехфазным инвертором напряжения со звеном постоянного тока, включаются последовательно с нагрузкой через вольтдобавочный трансформатор. Они позволяют обеспечить подавление высших гармоник напряжения, а также дают возможность регулировать его уровень в точке подключения нагрузки [3]. Недостатками последовательных АФ является наличие дополнительного трансформатора, сложность защиты от перегрузки и сложность подключения.

Параллельный АФ представляет собой инвертор с токовым выходом, подключаемый параллельно нагрузке. Схема подключения параллельного активного фильтра приведена на рис. 2. Параллельные АФ просты в подключении, не подвержены влиянию перегрузок и проще в обслуживании [4].

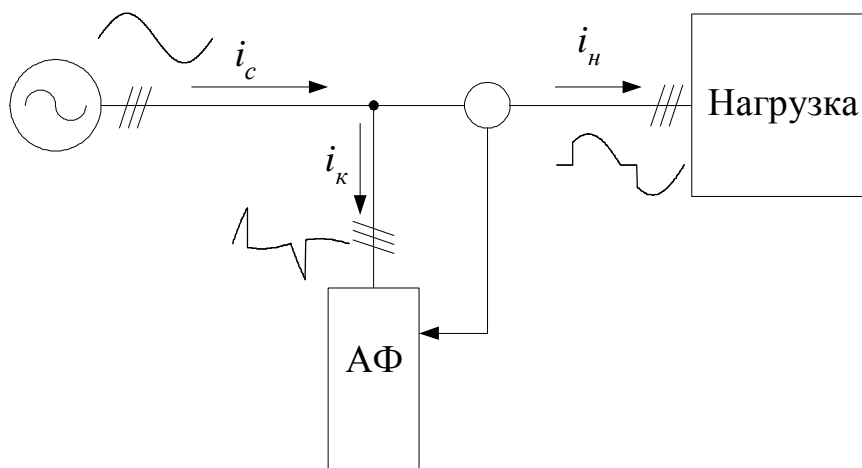


Рис. 2. Схема подключения параллельного активного фильтра

Параллельные АФ обычно строятся на основе трехфазного инвертора напряжения или инвертора тока с интерфейсным фильтром на выходе (LC-фильтр соответствующего порядка).

Гибридный АФ представляет собой разновидность параллельного АФ, в котором инвертор напряжения подключен к сети через последовательный LC-фильтр, настроенный на 5-ю и / или 7-ю гармонику.

Из-за простоты подключения и возможности прямого управления выходным током фильтра наибольшее распространение получили гибридные и параллельные АФ. Установка параллельного АФ достаточной мощности позволит скорректировать несимметричные режимы работы сети и компенсировать реактивную мощность нагрузки.

Основными проблемами при эксплуатации параллельных АФ на основе инверторов являются: ограниченная скорость изменения выходного тока, вызванная необходимостью применения интерфейсного фильтра и, как следствие, ограниченный частотный диапазон эффективной компенсации высших гармоник; наличие в выходном токе помех на частоте широтно-импульсной модуляции (ШИМ), приводящий к перемещению спектра высших гармоник в сторону высоких частот (5–20 кГц), что может приводить к возникновению резонансных явлений в сети. Повышение качества подавления высших гармоник может быть достигнуто путем увеличения частоты переключения инвертора. Основной недостаток этого способа – резкое увеличение потерь в транзисторных ключах.

Основной задачей исследования является модификация параллельного АФ, позволяющая значительно увеличить скорость изменения выходного тока фильтра и эффективно подавлять скачкообразные изменения тока, вызываемые нелинейной нагрузкой. В результате значительно улучшается качество подавления высших гармоник и снижается уровень генерируемых фильтром помех на несущей частоте ШИМ.

На рис. 3 приведена принципиальная схема модифицированного активного фильтра.

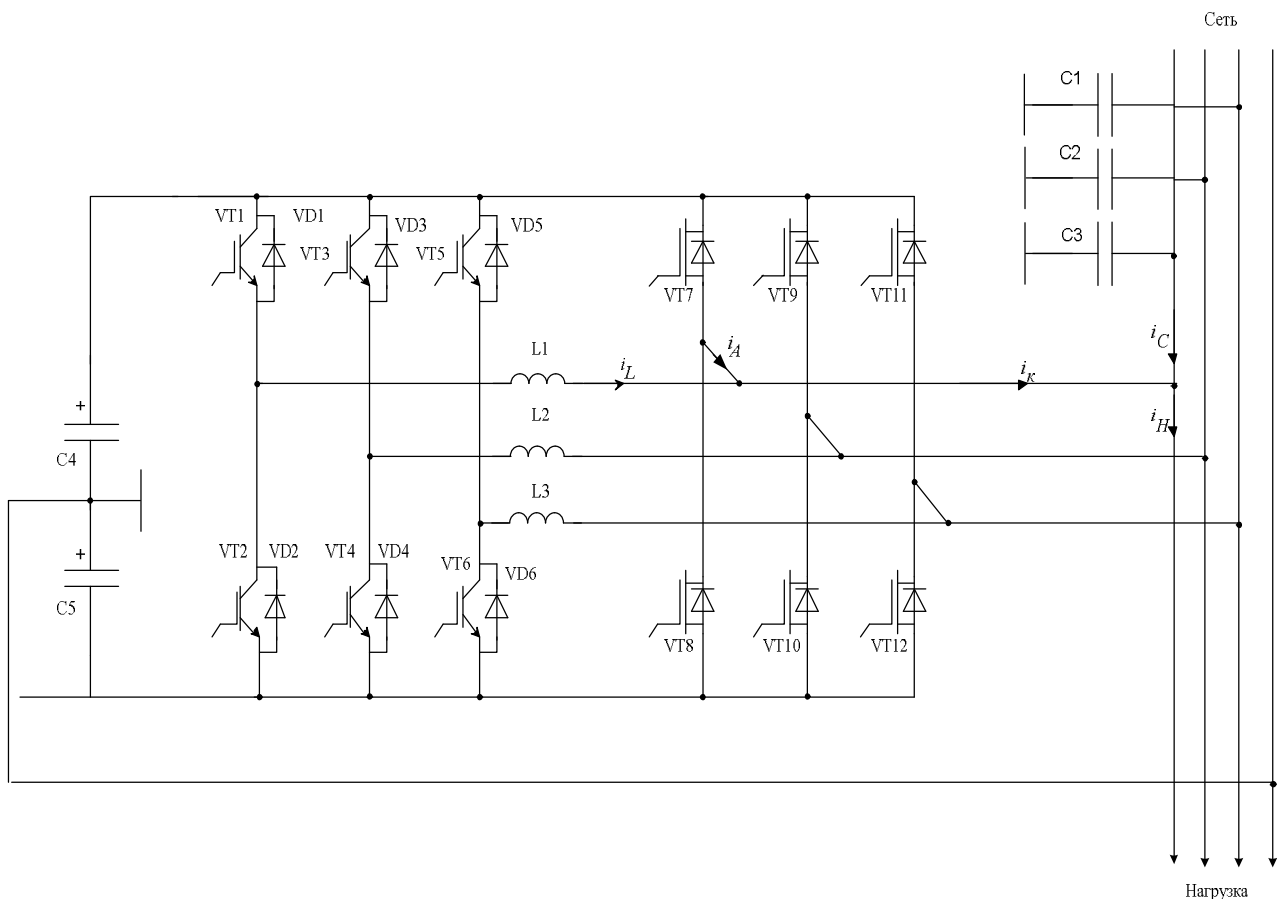


Рис. 3. Принципиальная схема модифицированного активного фильтра

Параллельный активный фильтр, образованный инвертором напряжения (транзисторы VT1 – VT6) со звеном постоянного тока (конденсаторы C4, C5) и интерфейсным фильтром (дроссели L1 – L3 и конденсаторы C1 – C3), дополнен линейным звеном (транзисторы VT7 – VT12), который представляет собой трехфазный мост из полевых транзисторов, работающих в линейном режиме.

На рис. 4 приведена упрощенная структурная схема системы управления модифицированного АФ. Цель установки АФ заключается в том, чтобы ток, потребляемый от сети,

совпадал по фазе с напряжением сети и содержал только основную гармонику. Для этого выходной ток i_L инвертора регулируется таким образом, чтобы в сумме с током нагрузки i_H форма тока сети i_C была синусоидальной.

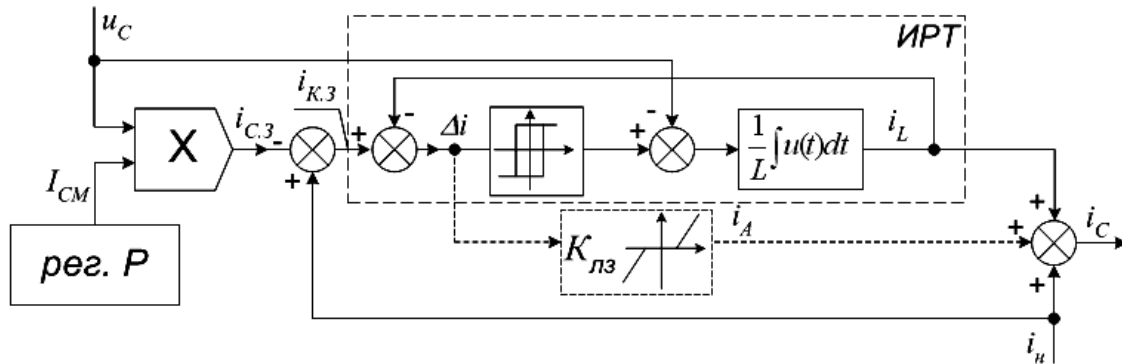


Рис. 4. Структурная схема системы управления АФ

Регулятор активной мощности *рег. P* обеспечивает симметрирование и стабилизацию напряжения звена постоянного тока (С4, С5). Это инерционный ПИ-регулятор, выходной сигнал которого определяет амплитуду тока, потребляемого от сети. Для стабилизации звена постоянного тока необходимо выполнение условия баланса мощности:

$$\int_0^T u(t) \cdot i_H(t) dt = \int_0^T u(t) \cdot i_C(t) dt, \tag{1}$$

где T – период сети.

Так как $u(t)$ и $i_C(t)$ синусоидальны, то амплитуда $i_C(t)$ может быть найдена как:

$$I_{CM} = \frac{2}{U_{CM} \cdot T} \int_0^T u(t) \cdot i_H(t) dt, \tag{2}$$

где U_{CM} – амплитуда напряжения сети.

Сигнал задания амплитуды I_{CM} поступает на перемножитель, который осуществляет его умножение на сигнал напряжения сети. В результате на выходе перемножителя формируется задание на ток сети. Из этого задания производится вычитание тока нагрузки. Результатом становится сигнал, задающий ток корректора $i_{K.3} = i_{C.3} - i_H$. Этот сигнал поступает на импульсный регулятор тока (ИРТ, см. рис. 4), реализованный с использованием принципа гистерезисного управления. Выходным сигналом ИРТ является ток дросселя i_L , который суммируется с током нагрузки в точке подключения.

Для уменьшения ошибки регулирования выходного тока к выходу инвертора подключается корректирующее звено, работающее в режиме линейного генератора тока. Выходной ток этого звена регулируется таким образом, чтобы устранить ошибку регулирования инвертора. Для этого в схему управления АФ (рис. 4) вводится дополнительное корректирующее звено $K_{лз}$ (обозначено пунктиром), на вход которого поступает сигнал ошибки регулирования выходного тока Di , а выходной ток складывается с выходным током инвертора i_L .

На рис. 5 приведены расчетные осциллограммы тока сети при работе симисторного регулятора напряжения с активной нагрузкой. Параметры АФ: максимальная частота переключения 25 кГц, $L1 = L2 = L3 = 600$ мкГн, напряжение звена постоянного тока ± 418 В, напряжение сети 220 В (фазное).

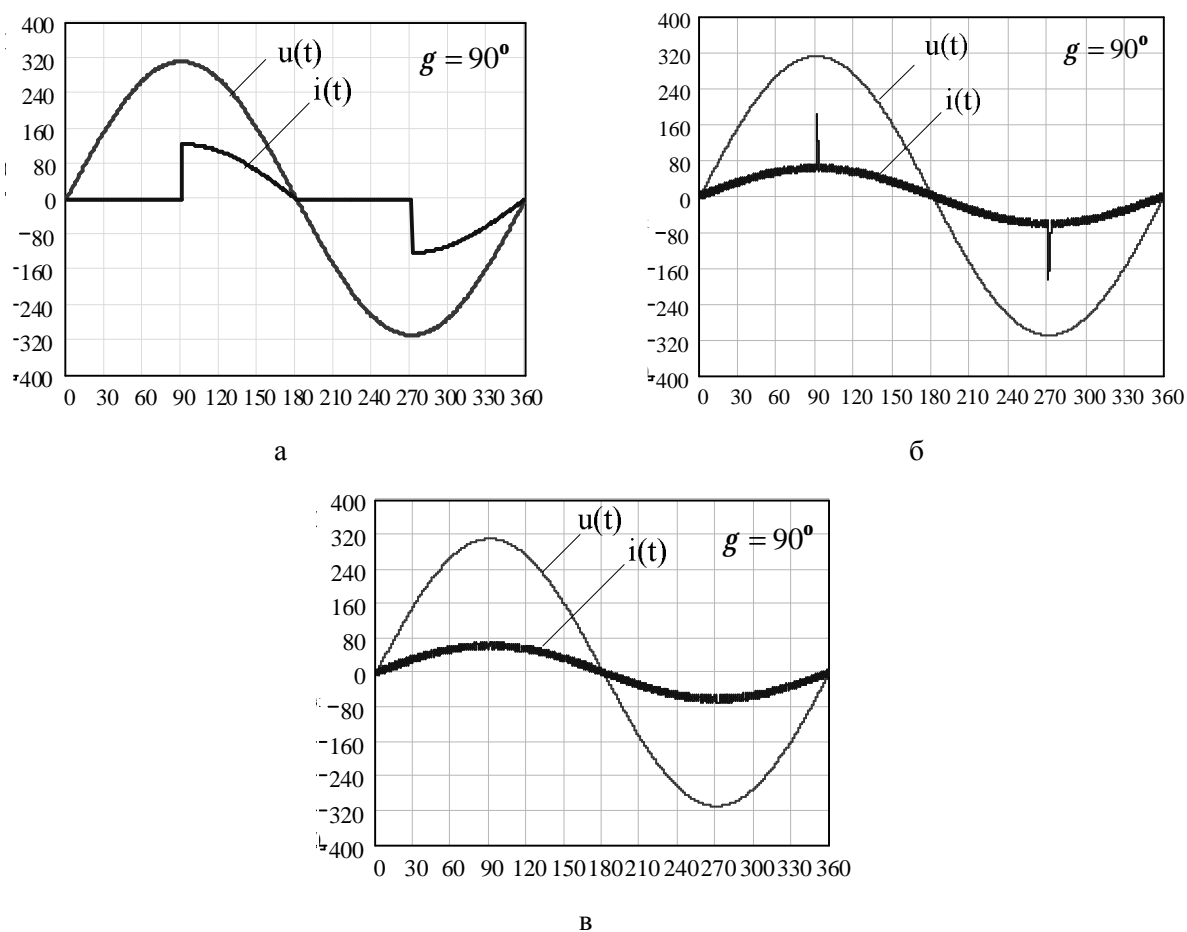


Рис. 5. Расчетные осциллограммы тока сети при работе симисторного регулятора напряжения с активной нагрузкой (угол управления $\gamma = 90^\circ$):

а – АФ отключен; КГ = 63,9 %; б – АФ включен; линейный корректор отключен; КГ = 9,5 %; в – АФ включен; линейный корректор включен; КГ = 1,1 %

ВЫВОДЫ

Как видно, введение дополнительного корректирующего звена приводит к снижению уровня пульсаций и остаточного коэффициента гармоник.

Применение устройства позволяет обеспечить улучшение качества подавления высших гармоник и снижение генерируемых фильтром помех на частоте ШИМ, что способствует повышению качества питающей сети и улучшает технико-экономические показатели сварочного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голощубов В. І. Зварювальні джерела живлення : навч. посібник / В. І. Голощубов. – К. : Арістей, 2005. – 448 с.
2. Zainal Salam, Tan Perng Cheng, Awang Jusoh. Harmonics Mitigation Using Active Power Filter : A Technological Review. Department of Energy Conversion, Faculty of Electrical Engineering, University Technology Malaysia. – 2006. – № 2. – P. 17–26.
3. Active filter design and specification for control of harmonics in industrial and commercial facilities. Mark McGranaghan, Electrotek Concepts, Inc. Knoxville TN, USA – 9 с.
4. Active power compensator of the current harmonics based on the instantaneous power theory. Marian Gaiceanu. The annals of «Dunarea de jos» university of Galati : electrotehnics, electronics, automatic control, informatics. – Fascicle III. – 2005. – P. 23–28.