

УДК 621.314.58

ЭВОЛЮЦИОННЫЙ СИНТЕЗ МНОГОФАЗНЫХ АВТОНОМНЫХ ИНВЕРТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ (АИН)

Голембиовский Ю.М., Тимофеева О.В.

Саратовский государственный технический университет, г. Саратов

Тел.: (845-2)-79-77-01, E-mail: yugol@sstu.ru

Аннотация. Описывается метод синтеза многофазных автономных инверторов напряжения на основе использования генетических алгоритмов.

Ключевые слова: инвертор напряжения, метод синтеза, амплитудно-импульсная модуляция, автоматизация проектирования, качество напряжения.

Постановка задачи

Одним из главных требований к характеристикам преобразователей частоты является соответствующее стандарту качество выходного напряжения. Практически во всех выпускаемых в настоящее время автономных инверторах напряжения (АИН) эта задача решается применением широтно-импульсной модуляции (ШИМ). [1, 2] В то же время известно, что ШИМ имеет целый ряд недостатков [3], основными из которых являются высокие динамические потери в ключевых элементах инверторов (например, IGBT модулях) и как следствие завышенная установленная мощность силового оборудования.

Альтернативным решением является использование амплитудно-импульсной модуляции (АИМ), становящейся все более предпочтительной с ростом номинальной мощности АИН.

В работах [4, 5] предложен генетический подход к синтезу однофазных автономных АИН с многоуровневой кривой выходного напряжения и получен ряд схемных решений, одно из которых представлено на рис. 1.

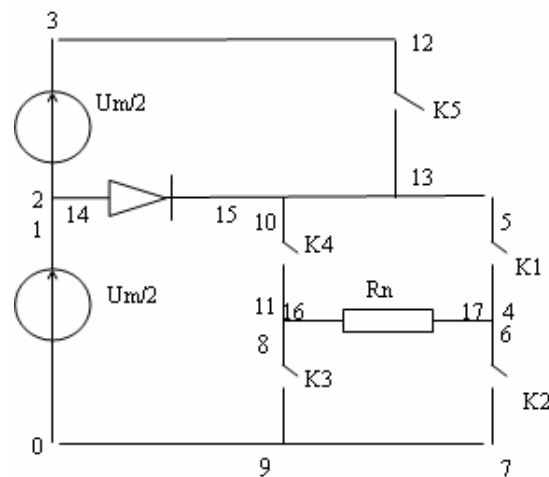


Рис. 1. Однофазный АИН с 2-х уровневим выходным напряжением.

Амплитудно-импульсная модуляция в однофазных схемах обеспечивается за счет надлежащей коммутации источников питания в звене постоянного тока. Однако такой способ получения амплитудно-модулированного сигнала нельзя, к сожалению, применить к известным схемам 3-х фазных АИН, поскольку попытка получения многоступенчатой кривой выходного напряжения одной какой-либо фазы приводит к недопустимому искажению кривых напряжений двух других фаз.

По этой причине представляет интерес синтез альтернативных вариантов 3-х фазных АИН, а именно переход к многомодульным структурам.

В данной работе излагается процедура эволюционного синтеза 3-х фазных АИН на основе полученных ранее [6] однофазных модулей. Для разработки генетического алгоритма синтеза на

первом этапе ставилась задача синтезировать известную схему 3-х фазного АИН на основе однофазных инверторов с трансформаторным суммированием напряжений отдельных мостов. В состав набора компонентов, необходимых для синтеза 3-х фазного АИН в соответствии с поставленной задачей, были включены следующие элементы:

- три однофазных трансформатора с одной первичной и одной вторичной обмотками;
- три резистора, соединенные в звезду;
- три однофазных модуля, схема которых представлена на рис.2;
- источник питания.

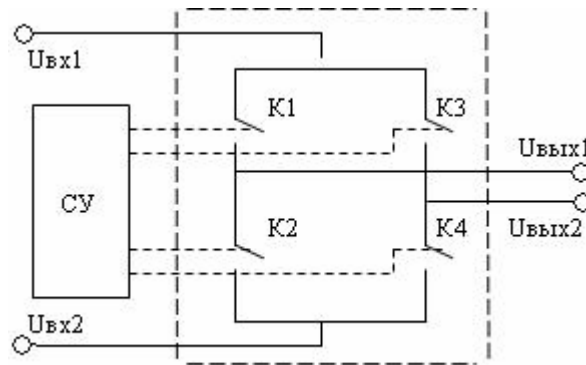


Рис. 2. Структура однофазного инверторного модуля

Для цели синтеза необходимо было представить адекватное описание новых базовых элементов набора – трансформатора и однофазного инверторного модуля (ОИМ).

Хромосома, представляющая в закодированной форме силовую схему АИН, содержит гены, обозначающие вершины заданных элементов и модулей. В данном алгоритме предусмотрена процедура автоматического присвоения номера каждой вершине в зависимости от числа ступеней требуемой синтезированной кривой напряжения. Каждое соединение вершин в хромосоме содержит две вершины исходных элементов или модулей. Возможный вид хромосомы представлен на рис.3, где пунктирами разделены вершины элементов и модулей, а цифрами обозначены номера вершин. В результате синтеза не всякая схема может оказаться работоспособной. Причинами этого являются недопустимые подключения элементов, наличие петель или отсутствие подключения вершины ветви к одному из соединений схемы. Для решения этой проблемы используется процедура, реализующая отсеивание особей популяции, имеющих указанные ограничения.

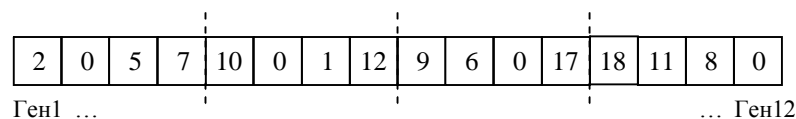


Рис. 3. Хромосома синтезируемого комплекса

Алгоритм осуществляет поиск решения следующим образом. Сначала инициализируется исходная популяция возможных схем и при помощи целевой функции производится оценка каждой особи в отдельности, а также всего поколения в целом. Целевая функция подразумевает удовлетворение критерию минимума коэффициента гармоник. Затем применяются эволюционные операторы селекции, кроссинговера (скрещивания) и мутации, учитывающие специфику решаемой задачи. В процедуре скрещивания из текущего поколения случайно выбираются две различные особи. Далее каждый ген хромосомы потомка с одинаковой вероятностью $p=0,5$ может принять значение соответствующего гена либо одного, либо другого родителя. При скрещивании особей потомок выживает только тогда, когда его коэффициент отклонения от заданной кривой меньше среднего коэффициента отклонения для текущего поколения родителей – в этом случае потомок

записывается в следующее поколение, а в текущем поколении уничтожается особь с наихудшим (то есть наибольшим) коэффициентом отклонения. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет сформирована новая популяция потомков, имеющих лучшие значения показателей параметров оптимизации. Целевая функция позволяет оценивать получаемые схемотехнические решения и показывает насколько они соответствуют требуемому результату. В случае схождения решения к локальному экстремуму происходит возврат к предыдущему этапу проектирования, повторяются генерация значений генов и применение эволюционных операторов [7].

Результаты программного синтеза приведены на рис. 3

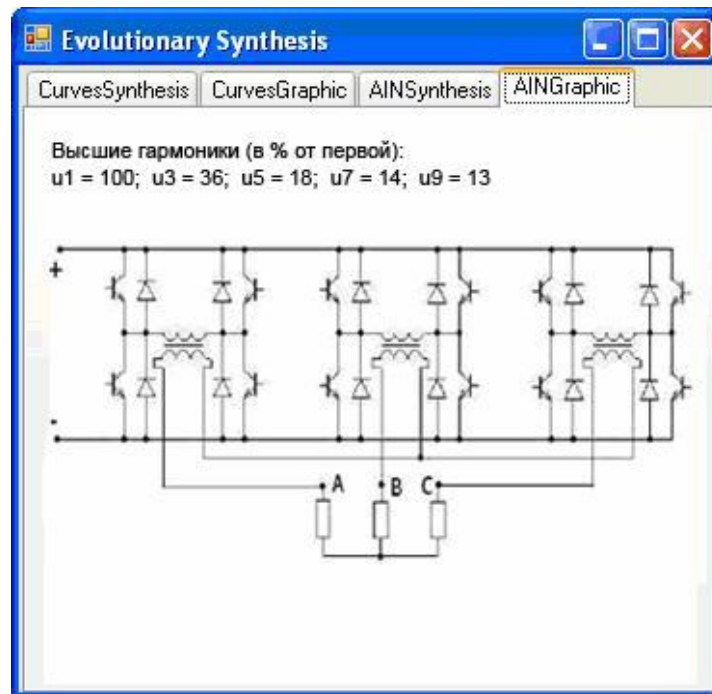


Рис. 3. Синтезированная схема трехфазного инвертора напряжения на базе трех однофазных мостовых схем

На рис. 4 показана кривая фазового напряжения синтезированного АИН, полученная с использованием системы проектирования MicroSim PSpice Schematics.

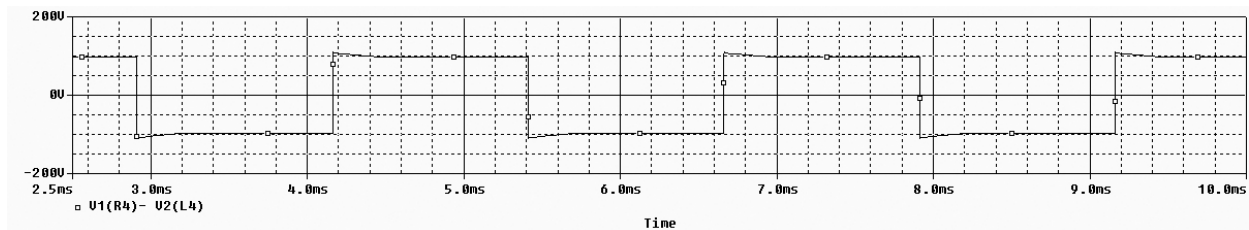


Рис. 4. Кривая фазного напряжения трехфазной нагрузки

Гармонический состав такого напряжения рассчитывается в процессе эволюционного синтеза схемы и приведен на рис.3. Обращает на себя внимание наличие существенной 3-ей гармоники.

Из [1] известно, что фазовые и линейные напряжения в синтезированной схеме являются одноуровневыми. При этом фазовое напряжение имеет коэффициент гармоник 40 %.

Такой коэффициент неприемлем для многих потребителей. Поэтому задача второго этапа состояла в синтезе схемы 3-х фазного АИН с лучшей формой кривой выходного напряжения.

Отметим, что организация АИМ с помощью суммирующего трансформатора применялась еще в 50-х – 60-х годах прошлого столетия в отношении автономных инверторов тока (АИТ). Но

уже тогда было совершенно очевидно, что суммирующий трансформатор существенно увеличивает установленную мощность силового оборудования, особенно при частотном регулировании. Отказ от выходного суммирующего трансформатора (ВСТ) удалось реализовать только для однофазных схем, в которых АИМ осуществлялась за счет многоуровневых источников входного напряжения автономных инверторов. Применение такого подхода к 3-фазным мостам оказалось невозможным из-за искажения формы выходного напряжения и ухудшения его гармонического состава.

Синтез 3-х фазного АИН с уменьшенным коэффициентом гармоник

В [4] было указано, что синтез топологии схем начинается с синтеза амплитудно-модулированной кривой выходного напряжения с заданным коэффициентом гармоник. В приводимом примере коэффициент гармоник был задан равным 28%. Данное требование привело к синтезу 2-х уровневой кривой выходного напряжения, реализация которой эволюционным алгоритмом привела к синтезу новой схемы безтрансформаторного АИН с 120-градусным управлением однофазными мостами, показанной на рис. 5.

Анализ этой схемы проводился с помощью системы моделирования MicroSim PSpice Schematics. На рис. 6 представлена кривая фазового напряжения нагрузки, генерируемого синтезированным 3-х фазным АИН, с коэффициентом гармоник 24%. Обращает внимание исчезновение 3-й гармоники в кривой фазового напряжения. Отсутствие суммирующих трансформаторов существенно снижает установленную мощность силового оборудования 3-х фазного АИН и делает данную схему более предпочтительной по сравнению со схемой рис. 3.

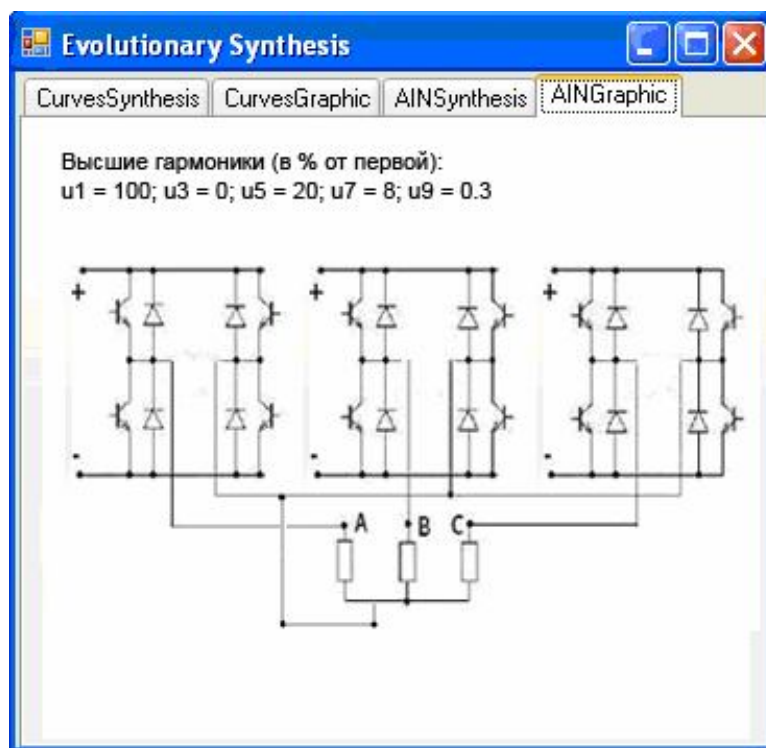


Рис.5. Синтезированная схема безтрансформаторного трехфазного инвертора напряжения

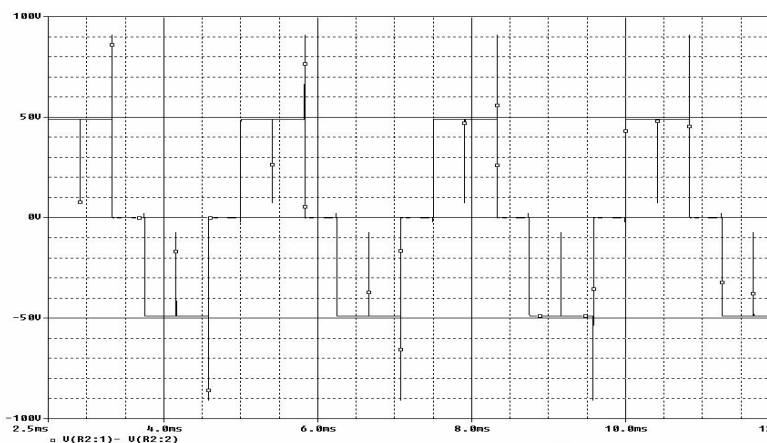


Рис. 6. Кривая фазового напряжения трехфазной нагрузки

Заключение

Разработанный алгоритм синтеза многомодульных преобразовательных систем позволяет автоматизировать процесс проектирования систем вторичного электроснабжения по критерию качества выходного напряжения. В отличие от используемого в настоящее время экспертного подхода к синтезу устройств и систем силовой электроники, базирующегося в основном на интуиции и опыте разработчиков, полученный на данном этапе программный продукт позволяет устранить ошибки и тупиковые варианты и существенно снизить объем необходимой априорной информации.

Список использованных источников

1. Моин В.С. Стабилизированные транзисторные преобразователи. Основы теории и расчета / В.С. Моин, Н.Н. Лаптев. М.: Энергия, 1972. 376 с.
2. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: Учеб. Пособие. – Изд. 2-е, испр. И доп. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. 664 с.
3. Голембиовский Ю.М. Оптимальный выбор уровней входных напряжений мостов в преобразовательной сети на базе инверторов напряжения / Голембиовский Ю.М., Колдаев Р.В // Вопросы преобразовательной техники, частотного электропривода и управления: Межвуз. научн. сб. Саратов: СГТУ, 1999. С. 12–18.
4. Голембиовский Ю.М. Эволюционное моделирование процесса синтеза схем автономных инверторов модуляционного типа / Ю. М. Голембиовский, О.В. Тимофеева // Анализ, синтез и управление в сложных системах: сб. науч. трудов. Саратов: СГТУ, 2007. 110 с.
5. Голембиовский Ю.М. Синтез топологии однофазных автономных инверторов напряжения / Ю. М. Голембиовский, О.В. Тимофеева // Методы и средства управления технологическими процессами: МСУТП – 2007: материалы IV Междунар. конф. Саранск: изд-во Мордов. ун-та, 2007. 288 с.
6. Голембиовский Ю.М. Разработка эволюционного алгоритма синтеза многофазных многомодульных инверторов / Ю. М. Голембиовский, О.В. Тимофеева // Проблемы управления, передачи и обработки информации (АТМ-ТКИ-50): сб. трудов Международ. науч. конф. Саратов: СГТУ, 2009. 423 с.
7. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И.Д.Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452с.