

ОТЗЫВ

официального оппонента Панфилова Дмитрия Ивановича на диссертацию Токарева Вадима Геннадьевича «Способы повышения энергетической эффективности активных силовых фильтров», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 – «Силовая электроника»

1. Актуальность избранной темы

Россия является крупнейшим в мире производителем электроэнергии, при этом потери при передаче и преобразовании составляют порядка 10% от всей произведенной электроэнергии, в то время как в таких странах как США и Япония этот показатель значительно ниже. Для улучшения таких показателей качества электроэнергии, как коэффициент гармоник тока и коэффициент мощности, непосредственно влияющих на потери, применяют различные технические средства, одним из которых является активный силовой фильтр (АСФ). Со стороны промышленности существует потребность в наличии таких устройств, которые работают в широком диапазоне напряжений и номинальных мощностей, что достигается применением многоуровневых топологий полупроводниковых преобразователей, на которых построен АСФ и параллельным включением упомянутых преобразователей.

Работа посвящена исследованию факторов, влияющих на энергетическую эффективность АСФ с параллельным включением многоуровневых преобразователей, качество компенсации высших гармоник тока, а также анализу причин, приводящих к увеличению потерь в элементах полупроводниковых преобразователей, на которых строится АСФ, разработке алгоритмов и методик, направленных на снижение потерь.

Исследования в данном направлении востребованы при создании энергетически эффективных АСФ, широкое применение которых продиктовано необходимостью использования энергосберегающих технологий на промышленных предприятиях, следовательно, тема диссертационной работы является актуальной.

2. Основные научные результаты и их новизна

Научная новизна диссертационного исследования заключается в:

- предложенном алгоритме векторной ШИМ, который разработан с целью снижения циркуляционных токов и улучшения гармонического состава формируемого фазного тока для двух трехуровневых полупроводниковых преобразователей в параллельном включении;
- алгоритме, направленном на улучшение эффективности компенсации высших гармоник тока параллельным АСФ в установленном режиме работы;
- разработанной методике вычисления коэффициента гармоник сетевого тока в реальном времени для микроконтроллеров, не имеющих аппаратной поддержки функций цифровой обработки сигналов.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Отмеченная в работе зависимость величины циркуляционных токов, протекающих между трехуровневыми полупроводниковыми преобразователями АСФ в параллельном включении от способа модуляции, основана на детальном анализе электромагнитных процессов в соответствии с базовыми законами электротехники.

Предложенные алгоритмы управления АСФ и разработанные в ходе исследования имитационные модели базируются на принципах Теории мгновенной мощности, математическом аппарате дискретного и быстрого преобразований Фурье.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена приведенными теоретическими расчетами, результатами имитационного моделирования, результатами экспериментальных исследований, проведенных на прототипе активного силового фильтра, а также публикациями в рецензируемых научных журналах и

обсуждениями положений и выводов диссертационного исследования на международных конференциях.

Степень обоснованности находится на уровне требований, достаточном для кандидатской диссертации.

4. Содержание диссертации

Во введении обосновывается актуальность работы, приводятся цель и задачи диссертационного исследования, научная новизна и практическая значимость работы, методы исследования и научные положения, выносимые на защиту, сведения о публикациях и личном вкладе автора в работу, апробация работы, структура и объем диссертации.

В первой главе проведен аналитический обзор способов снижения циркуляционных токов в параллельно включенных полупроводниковых преобразователей, а также вариантов исполнения АСФ. Приводятся теоретические сведения о математическом аппарате, используемом для построения систем управления АСФ. Также высказывается предположение о наличии возможности улучшить качество формируемого фазного тока при одновременном снижении величины циркуляционного тока методами векторной широтно-импульсной модуляции.

Вторая глава посвящена синтезу алгоритма векторной широтно-импульсной модуляции для двух трехуровневых полупроводниковых преобразователей в параллельном включении, который направлен на снижение циркуляционных токов. На основе анализа протекания циркуляционных токов в двух трехфазных трехуровневых полупроводниковых преобразователях в параллельном включении при одновременной реализации разных комбинаций состояний ключей, предложена такая последовательность комбинаций состояний ключей, реализация которой приводит к снижению циркуляционных токов и улучшению гармонического состава формируемого преобразователями фазного тока.

В третьей главе предложен алгоритм, основанный на прогнозировании, улучшающий качество компенсации высших гармоник тока параллельным АСФ. Также в главе предложена методика вычисления коэффициента гармоник сетевого тока, предназначенная для системы управления АСФ. Предложенные решения позволяют иметь объективную информацию о коэффициенте гармоник фазного тока в процессе работы фильтра, тем самым отслеживать качество компенсации высших гармоник тока, что дает возможность системе управления фильтром выбрать наиболее подходящую стратегию компенсации.

Четвертая глава содержит описание разработанной в ходе исследования имитационной модели, представляющей собой два трехфазных трехуровневых полупроводниковых преобразователя в параллельном включении с общим звеном постоянного тока, а также результаты имитационного моделирования предложенных в работе алгоритмов. Также в главе имеется описание экспериментальной установки – прототипа АСФ, на которой были реализованы предложенные в работе алгоритмы и экспериментально подтверждена их эффективность.

5. По диссертации необходимо сделать следующие замечания:

– в работе предложен алгоритм векторной ШИМ (Глава 2) для снижения циркуляционных токов и улучшения гармонического состава формируемого фазного тока АСФ, вместе с тем, не рассмотрено влияние «мертвого» времени на эффективность данного алгоритма;

– при синтезе алгоритма векторной ШИМ (Глава 2) автор ограничился рассмотрением двух трехуровневых полупроводниковых преобразователей, включенных параллельно, учитывая то, что в последнее время существует тенденция построения устройств силовой электроники по модульному принципу, остается нераскрытой возможность масштабирования предложенного алгоритма на большее число многоуровневых полупроводниковых преобразователей в параллельном включении;

– методика расчета коэффициента гармоник сетевого тока (Глава 3) разработана для трехфазной сети в условиях симметричной нагрузки, однако, в случае несимметрии нагрузки, погрешность вычисления по данной методике будет возрастать, что ограничивает ее применение;

– в тексте работы отсутствует обоснование предпочтения выбора топологии NPC для построения многоуровневых полупроводниковых преобразователей АСФ, в сравнении с другими решениями, например топологией H-моста.

Заключение

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой применены научно-технические решения, имеющие существенное значение в области силовой электроники, а результаты, полученные в диссертации, являются вполне обоснованными, достоверными, соответствующим поставленным целям и задачам. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Содержание диссертации отражено в 10 печатных работах. 3 работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК. Результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на международных конференциях.

Тема диссертации соответствует области исследований научной специальности 05.09.12 «Силовая электроника», а именно, следующих пунктов паспорта специальности:

- теоретический анализ и экспериментальные исследования процессов преобразования (выпрямления, инвертирования, импульсного, частотного и фазочастотного регулирования и т.п.) в устройствах силовой электроники с целью улучшения их технико-экономических и эксплуатационных характеристик;

- оптимизация преобразователей, их отдельных, функциональных узлов и элементов;

- математическое и схемотехническое моделирование преобразовательных устройств;

- разработка научных подходов, методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих адекватное отражение в моделях физической сущности электромагнитных процессов и законов функционирования устройств силовой электроники.

Таким образом, диссертационная работа «Способы повышения энергетической эффективности активных силовых фильтров», соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Токарев Вадим Геннадьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 05.09.12 – «Силовая электроника».

Официальный оппонент, научный руководитель
Научно-технического совета АО «Научно-
технический центр федеральной сетевой компании
единой энергетической системы»,
доктор технических наук, профессор

Панфилов Дмитрий Иванович

115201, Россия, г. Москва, Каширское ш., д. 2, корп. 3,
Тел.раб +7-495-727-19-09,
email: panfilov_di@ntc-power.ru

«07» декабря 2021 года

Подпись Панфилова Д.И. заверяю.

Начальник отдела управления персоналом АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Шестопалова М.А.

