

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Абрамова Сергея Владимировича

«Динамика понижающего импульсного преобразователя с одноконтурной системой управления на серийной микросхеме»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 – «Силовая электроника»

1. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационная работа Абрамова С.В. посвящена исследованию динамики понижающего импульсного преобразователя постоянного напряжения с одноконтурной системой управления, построенной на серийной микросхеме.

В настоящее время импульсные преобразователи напряжения в достаточной степени распространены, поскольку обеспечивают высокое качество выходного напряжения при высоком коэффициенте полезного действия и приемлемых массогабаритных показателях. Они представляют собой замкнутые системы автоматического управления, которые решают задачу стабилизации выходной физической величины. Данные системы относятся к классу нелинейных динамических систем математическое описание которых достаточно сложное и не удобно на практике.

Основной задачей при проектировании таких систем является обеспечение их устойчивости, что достигается выбором параметров корректирующего устройства. Данная задача на сегодняшний день может быть решена методами теории линейных систем автоматического управления, методами теории линейных импульсных систем и методами теории нелинейных импульсных систем.

Применение теории линейных систем автоматического управления на сегодняшний день является основным методом проектирования систем рассматриваемого класса, что обусловлено его простотой. В тоже время усреднённые динамические модели, которые используются в рассматриваемом случае, не позволяют учесть дискретность процессов, что в ряде случаев может привести к погрешностям при выборе параметров регуляторов.

Теория нелинейных импульсных систем, связанная с использованием полных динамических моделей, позволяет учесть сложные динамические процессы в системе, но в

то же время не дает возможности использования частотных методов настройки контуров регулирования, что затрудняет ее применение в инженерной практике.

Теория линейных импульсных систем, используемая в рассматриваемой работе, предполагает описание системы в виде дискретных передаточных функций и является сбалансированным подходом, который обеспечивает большую точность, чем усредненные динамические модели, учитывает дискретность системы и позволяет использовать частотные методы. На сегодняшний день ее применение при проектировании импульсных преобразователей напряжения недостаточно распространено из-за незавершенности научных исследований.

Выбранный объект исследования, а именно непосредственный понижающий преобразователь постоянного напряжения, относится к классу преобразователей первого рода, который не ограничивается только данным представителем. Так что полученные в работе результаты могут быть распространены на все преобразователи первого рода.

Сказанное выше позволяет заключить, что тема диссертации Абрамова С.В. актуальна.

2. СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ, СФОРМУЛИРОВАННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, включающего 116 наименований и приложения. Основная часть работы изложена на 148 страницах машинописного текста, включая 57 рисунков, 2 таблицы.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и основные задачи исследования, приведены основные научные положения и результаты, выносимые на защиту, а также сведения об апробации и внедрения результатов работы.

В первой главе проведен глубокий анализ существующей отечественной и зарубежной литературы в соответствующей предметной области, и продемонстрирован современный уровень развития методов анализа и расчета динамики систем управления импульсными преобразователями.

Проанализированы существующие структурные динамические модели и определено, что с точки зрения практики наиболее перспективны линеаризованные структурные импульсные модели.

Проведен анализ усреднённых динамических моделей, которые на практике являются наиболее распространенными, поскольку позволяют использовать методы теории линейных систем автоматического управления при проектировании систем управления импульсными преобразователями. В то же время усреднённые модели не учитывают дискретность системы, что приводит к определенным погрешностям при частотном анализе.

Рассмотрены особенности использования разностных уравнений для описания систем автоматического управления с импульсными преобразователями и делается вывод о целесообразности применения линейных разностных уравнений, поскольку последние обладают как достаточной простотой, так и приемлемой точностью.

Показаны недостатки существующих дискретных моделей систем рассматриваемого класса, построенных на основе z -преобразования. Данные модели не учитывают процессы, протекающие между соседними дискретными моментами, что приводит к необходимости использования смещенного z -преобразования, которое в дальнейшем применяется в работе.

Во второй главе приводятся результаты исследования динамики системы автоматического управления на основе непосредственного понижающего преобразователя напряжения, работающего в режиме непрерывного тока с применением серийной микросхемы UC3573. Исследование динамики осуществляется на основе дискретных передаточных функций, полученных с использованием смещенного z -преобразования.

В главе представлена предлагаемая дискретная передаточная функция для системы автоматического управления с ПИД-регулятором, являющимся достаточно гибким и обладающим наибольшими возможностями при формировании заданных динамических свойств систем автоматического управления.

Исследование динамики рассматриваемой системы осуществлялось на основе анализа корневых годографов дискретной передаточной функции на комплексной плоскости, а также на основе анализа амплитудно-фазо-частотных характеристик (АФЧХ). Корневые годографы строились при отклонении ряда параметров дискретной передаточной функции от номинальных значений, а также при различных частотах коммутации силового ключа. При проведении исследований внимание уделялось сравнению некоторых результатов с результатами, полученными с использованием усреднённых динамических моделей и продемонстрирована достаточная с точки зрения практики сте-

пень сходства. В главе также определены границы устойчивости системы на основе анализа корневых годографов, которые были подтверждены результатами анализа АФЧХ.

В третьей главе приведены результаты исследований динамики системы автоматического управления на основе непосредственного понижающего преобразователя напряжения, работающего в режиме прерывистого тока, что в ряде случаев применяется для улучшения динамических свойств системы.

В главе представлен вывод выражения для дискретной передаточной функции, который осуществлялся в два приема и контролем некоторых результатов на основе сравнения АФЧХ.

Исследование нелинейной динамики непосредственного понижающего преобразователя, работающего в режиме прерывистого тока, осуществлялось путем анализа частотных характеристик разомкнутой системы. По результатам исследований было определено, что при высокой частоте коммутации ключа усредненные модели показывают приемлемую с точки зрения практики точность.

При сравнительном анализе систем с прерывистым и непрерывным током дросселя определено, что при выбранных параметрах запас устойчивости по фазе в режиме прерывистого тока меньше, чем запас устойчивости по фазе в режиме непрерывного тока.

Показаны преимущества использования режима прерывистого тока в САУ на основе непосредственного понижающего преобразователя.

В четвертой главе приводятся результаты экспериментальных исследований системы автоматического управления с ПИД-регулятором на основе непосредственного понижающего преобразователя.

В главе приводится описание созданной экспериментальной установки и проблемы создания печатных плат импульсных преобразователей напряжения.

Приводятся осциллограммы процессов переключения силового ключа с последующим анализом динамики переключения на основе аналитических выражений.

С использованием разработанной установки получены экспериментальные логарифмические амплитудно-частотные характеристики с последующим их сравнением с теоретическими, построенные на основе полученных в работе передаточных функций. Показана степень их совпадения, достаточная с точки зрения практики.

Проведены экспериментальные исследования замкнутой системы автоматического управления с понижающим преобразователем напряжения, заключающиеся в анализе временных диаграмм выходного напряжения при пуске преобразователя, а также в ана-

лизе статических характеристик, а именно зависимости выходного напряжения от входного, а также внешней характеристики преобразователя. Проведенные исследования подтвердили устойчивость системы, ранее обоснованную теоретически, а исследование статических характеристик подтвердило достижение заданной статической точности системы автоматического управления.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод, что сформулированные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации, в достаточной степени обоснованы.

3. ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций определяется использованием качества теоретической и методологической базы результатов исследований, представленных в отечественной и зарубежной литературе.

В диссертации использованы фундаментальные положения теории линейных электрических цепей, теории линейных систем автоматического управления, теории линейных импульсных систем. При построении дискретных передаточных функций используются общепринятые допущения.

Теоретические положения, приведенные в диссертации подтверждены как с использованием математического моделирования, так и экспериментальными исследованиями.

Результаты работы имеют практическую направленность и были использованы в ООО «Элсистемс». Кроме того, результаты исследований используются в учебном процессе в Чувашском государственном университете имени И.Н. Ульянова при преподавании ряда дисциплин.

4. НОВИЗНА НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ, СФОРМУЛИРОВАННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ

Основная научная новизна заключается в следующем.

1. Впервые построены дискретные передаточные функции для системы автоматического управления на основе непосредственного понижающего преобразователя с ПИД-регулятором в режимах прерывистого и непрерывного тока дросселя.

2. Разработана методика расчета частотных характеристик разомкнутой системы автоматического управления на основе полученных в работе дискретных передаточных функций

3. Проведены экспериментальные исследования процессов коммутации в схеме и получены результаты, позволяющие научно обоснованно выбирать частоту коммутации силового полупроводникового ключа в схеме, а также проведены экспериментальные исследования и получены результаты, подтверждающие достоверность, приведенных в работе теоретических положений.

5. ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИИ

1. В главах 2, 3 после проведения исследований частотных характеристик замкнутой импульсной системы на основе непосредственного понижающего преобразователя делаются выводы о корректности использования усреднённых моделей при проектировании, что подтверждается сравнением результатов, полученных на основе усреднённых непрерывных динамических моделей с результатами, полученными на основе линейных импульсных моделей. В то же время отсутствует четкая демонстрация преимуществ, разработанных линейных импульсных моделей перед усреднёнными непрерывными.

2. В разделе 4.4 не корректно используется термин «пороговое напряжение». Следует различать напряжение, соответствующее пологому участку зарядовой характеристики затвора и пороговое напряжение, при котором начинает образовываться канал инверсной проводимости под затвором (общепринятый термин). Второе значение всегда меньше первого. Так на рис. 4.19 пороговым напряжением названо напряжение, соответствующее пологому участку зарядовой характеристики затвора, а в тексте на странице 101 утверждается, что для выбранного транзистора оно «может составлять от -2 до -4 В». Из рис. 4.20, б видно, что напряжение, соответствующее пологому участку зарядовой характеристики затвора, для выбранного транзистора составляет -5 В. Такого рода несостыковки в изложении несколько затрудняют восприятие информации.

3. Уравнение (3.1) в тексте диссертации названо “нелинейным алгебраическим”, хотя на самом деле оно является трансцендентным.

4. В тексте диссертации присутствуют мелкие опечатки. Например, на странице 41 диссертации дается ссылка на передаточную функцию (4), хотя на самом деле она имеет номер (2.4).

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные замечания не снижают уровень и не уменьшают значимости выполненной работы. Диссертация Абрамова С.В. «Динамика понижающего импульсного преобразователя с одноконтурной системой управления на серийной микросхеме» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной задачи в области силовой электроники. Автореферат в достаточной степени отражает полученные в диссертационной работе результаты.

Содержание работы соответствует названию и специальности 05.09.12 – «Силовая электроника». Диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842.

Автор диссертации Абрамов Сергей Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 – «Силовая электроника».

Официальный оппонент

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электронных, радиоэлектронных и электротехнических систем федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет», г. Брянск

Андрянов Алексей Иванович

«24» мая 2016 г.

Адрес: 241035, г. Брянск, бул. 50-летия Октября, д. 7

Телефон: +7 (4832) 56-36-02

E-mail: ahaos@mail.ru