

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. Преобразователи постоянного напряжения находят широкое применение как источники электропитания различного рода устройств. Быстро развиваются конструкции и технологии производства силовых полупроводниковых приборов и силовых преобразователей, в том числе импульсных преобразователей постоянного напряжения, однако теория отстает от требований практики. Импульсные ППН с замкнутыми системами управления представляют собой сложные нелинейные дискретные системы, всестороннее исследование процессов в которых представляет собой серьезную проблему, о чем свидетельствует нарастающее число публикаций по этой теме в зарубежных и российских журналах. При анализе и синтезе преобразователей по-прежнему широко используются усредненные математические модели импульсных преобразователей, которые хотя и являются приближенными, но удобны для практического анализа и синтеза, и при обоснованном применении дают вполне приемлемые для практики результаты. Однако, результаты, получаемые по усредненным моделям, необходимо проверять по точным моделям, к которым относятся дискретные модели, и экспериментально.

Для исследования дискретных динамических моделей, которыми являются импульсные ППН, используются разностные уравнения, которые продолжают широко разрабатываться в зарубежной печати, и структурные динамические

модели. Использование на практике разностных уравнений для исследования импульсных ППН с замкнутыми системами управления имеет ряд серьезных недостатков. Использование дискретных динамических моделей силовых частей импульсных ППН, которые легко сочленяются со структурными моделями систем управления любой сложности, образуя структурную модель всего ППН, требуют для их использования разработки эффективных методов в частности метода z-преобразования анализа и дальнейшего развития теории импульсных систем. Этот метод перспективен, но пока еще недостаточно разработан. В связи с этим тема диссертации Абрамова С.В. посвященная решению указанных проблем, безусловно, актуальна.

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

Диссертация состоит из введения, четырех основных глав, заключения и приложения. Основные результаты работы и рекомендации достаточно полно отражены в опубликованных работах автора. Содержание автореферата соответствует тексту диссертации.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования диссертационной работы – проблемы изучения динамики импульсных ППН, формулируются цели работы, ее основные положения, определяются содержание и математические методы использованные в работе.

В первой главе проведен достаточно подробный анализ современного состояния исследований динамики импульсных ППН. Рассматриваются структурные динамические модели, которые в 60-х – 80-х годах прошлого столетия широко разрабатывались и использовались для исследований систем электропривода с полупроводниковыми преобразователями, разностные уравнения и усредненные модели, которые используются для анализа и синтеза импульсных ППН, и отмечены недостатки указанных методов. Исследован большой объем материала, о чем свидетельствует приведенный в диссертации список отечественных и зарубежных источников из 116 наименований. Показано, что широкое распространение получили частотные методы исследования динамики импульсных ППН с использованием

логарифмических частотных характеристик. Они удобны для синтеза, поскольку позволяют определять такие показатели качества переходных процессов, как запасы устойчивости по фазе и амплитуде, показатель колебательности, полосу пропускания системы. Появляется много работ, посвященных исследованиям импульсных преобразователей с использованием z -передаточных функций, поскольку при этом возможно получение более достоверных результатов, чем при использовании усредненных методов. К недостаткам известных методов исследования с использованием z -передаточных функций, выводимых из точных разностных уравнений следует отметить то, что получаются соотношения, которые описывают процессы только в дискретные моменты времени, не учитывающие пульсации токов и напряжений в реальных ППН. Кроме того, не учитывается влияние возмущений по входному напряжению и току нагрузки. Актуальным является развитие методов исследований, основанных на точном определении z -передаточной функции с использованием смещенного z -преобразования. Они позволяют получить и построить точные частотные характеристики ППН, учитывать процессы между моментами дискретизации, и применять метод z -преобразования в тех случаях, когда структурная динамическая модель содержит несколько импульсных элементов.

Во второй, как мне кажется наиболее важной и значимой, главе проводятся исследования динамики понижающего импульсного преобразователя с одноконтурной системой управления и ПИД-звеном коррекции динамических характеристик в режиме непрерывного тока. Приводится достаточно подробное математическое описание разомкнутой системы управления понижающим импульсным преобразователем с использованием линеаризованных дискретных структурных динамических моделей и смещенного z -преобразования, и получено выражение дискретной передаточной функции разомкнутой системы. Исследование динамики и разработка математического описания понижающего импульсного преобразователя с одноконтурной системой управления и ПИД-звеном коррекции рассматривались и ранее, однако, Абрамов С.В. предложил математическое описание выражений дискретных передаточных функций на основе смещенного z -преобразования, что позволило уточнить оценки качества переходных процессов понижающего ППН. С использованием полученной

дискретной передаточной функции разомкнутой системы было проведено исследование корней характеристического уравнения передаточной функции разомкнутой системы и построены годографы корней. Исследования корней характеристического уравнения позволяет судить об устойчивости замкнутой системы и определить показатели качества переходных процессов, например, таких как степень устойчивости режимов работы и колебательность. Построены частотные характеристики и рассчитаны показатели качества переходных процессов – запас устойчивости по фазе и показатель колебательности, представляющий собой максимальное значение АЧХ замкнутой системы. Одним из наиболее важных и значимых результатов полученных диссертантом следует считать проведенное им доказательство, что при отношении частоты переключений регулирующего транзистора f к частоте среза АЧХ резонансного контура непрерывной модели f_{cp} , превышающем значение $f/f_{cp} = 10$, динамические показатели качества дискретных систем мало отличаются от значений, вычисленных по непрерывной модели, которая не позволяет определить влияние частоты f на характеристики системы. С уменьшением частоты переключений запас устойчивости по фазе μ уменьшается сначала медленно, а начиная от значения $f/f_{cp} \approx 6 \div 7$ – достаточно резко; коэффициент колебательности M с уменьшением частоты растет, достигая при $f/f_{cp} \approx 5 \div 6$ неприемлемых на практике значений $M > 1,4$.

В третьей главе проводятся исследования динамики понижающего импульсного преобразователя в режиме прерывистого тока, что оказывается значительно сложнее чем в режиме непрерывного тока. Было уточнено известное выражение для дискретной передаточной функции разомкнутой системы в режиме прерывистого тока, полученное с использованием линеаризованной дискретной динамической модели. С использованием дискретной передаточной функции рассчитаны АЧХ и ФЧХ, и определены показатели качества переходных процессов. Для сравнения построены частотные характеристики по непрерывной структурной модели. Необходимо отметить, что для перехода в режим прерывистого тока, при неизменных остальных параметрах силовой части и системы управления, просто увеличивалось сопротивление нагрузки, в результате чего показатели качества ухудшаются. Но если одновременно уменьшить во

столько же раз емкость фильтра, то показатели качества становятся лучше, чем в режиме непрерывного тока. Для получения оптимальных процессов в режиме прерывистого тока целесообразно для этого режима изменить параметры усилителя ошибки (регулятора), уменьшить индуктивность дросселя по сравнению со значениями, принятыми в режиме непрерывного тока. Безусловно интересен и важен с практической точки зрения доказанный, диссертантом результат, что динамика ППН в режиме прерывистого тока при оптимальном синтезе лучше, чем в режиме непрерывного тока.

В четвертой главе приводятся результаты экспериментальных исследований понижающего преобразователя. Проектирование современных импульсных источников питания представляет собой достаточно сложный процесс, включающий в себя, в частности, разработку печатной платы. Описываются возможности улучшения топологии печатной платы. Приводятся осциллограммы процессов переключения в силовом транзисторе, на основании которых показано, что длительности интервалов переходного процесса при переключениях в силовой части ППН можно приближенно оценивать, рассчитывая процессы заряда и разряда паразитных емкостей транзистора, определяемых по приводимым в паспортных данных зависимостям заряда затвора от напряжения затвор-исток и выходным характеристикам транзистора. Экспериментально полученные длительности интервалов переходного процесса показывают, что при выбранных транзисторе и диоде предельная частота переключений f составляет порядка 100 кГц, поскольку при превышении этого значения происходит недопустимое искажение формы импульсов на элементах силовой части. Была подтверждена правильность расчетов частотных характеристик ППН в режимах непрерывного и прерывистого тока, о чем свидетельствует приемлемое совпадение экспериментальных и расчетных частотных характеристик. Показано, что расчеты по структурным динамическим моделям ППН частотных характеристик разомкнутой системы, корней характеристического уравнения замкнутой системы позволяют правильно предсказать поведение системы о нарушении ее устойчивости, что подтверждается экспериментальными осциллограммами.

Вышеизложенное позволяет утверждать, что научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, в достаточной мере обоснованы в рассмотренных четырех главах.

3. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций определяется использованием обоснованных теоретических фундаментальных методов исследования, применением общепринятых допущений, а также сравнением полученных методом математического моделирования теоретических результатов с результатами проведенных экспериментов, выполненных автором и с данными других исследований.

Основные научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертационной работе, получены на основе применения методов теории электрических цепей, теории автоматического управления, дискретных нелинейных систем и методов математического моделирования с использованием современных инструментальных средств.

4. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научная новизна определяется тем, что автор:

- впервые получил выражения дискретных передаточных функций понижающего импульсного преобразователя с одноконтурной системой управления и ПИД-корректирующим звеном в усилителе ошибки цепи отрицательной обратной связи на основе линеаризованных дискретных структурных динамических моделей и смещенного z -преобразования для режима непрерывного тока;

- на основе полученной в работе дискретной передаточной функции в режиме непрерывного тока и уточненной известной передаточной функции в режиме прерывистого тока, предложил методику расчета частотных характеристик и показателей качества переходных процессов позволяющую улучшить определение

частотных оценок качества переходных процессов и учитывать процессы, происходящие в системе между моментами дискретизации;

- провел экспериментальное уточнение ограничений частоты переключения силового транзистора.

- разработаны и предложены рекомендации по увеличению запасов устойчивости по фазе и улучшению качества переходных процессов при изменении входного напряжения и сопротивления нагрузки в ППН в режимах непрерывного и прерывистого тока.

5. Замечания по диссертации

1) Современные системы электропитания осуществляют двух и даже трехкратное преобразование энергии, имеют шины бесперебойного электропитания, запитываемые от преобразователей AC/DC. В свою очередь к шине бесперебойного электропитания, запитываемой от основной или резервной сети переменного или постоянного тока или от аккумуляторной батареи, подключаются десятки преобразователей DC/DC. Стабилизированные импульсные источники имеют комплексные выход и входные сопротивления, при этом дифференциальная резистивная составляющая входного сопротивления является отрицательной. Таким образом, источники бесперебойного электропитания имеющие шину бесперебойного электропитания, или системы электропитания, выполненные по каскадной схеме соединения источников; системы электропитания, содержащие входной фильтр радиопомех и преобразователей напряжения и т.д. потенциально неустойчивы. Для исследования их устойчивости необходимо знать из комплексные входные и выходные сопротивления, что, к сожалению, в работе не рассмотрено.

2) В уравнении (1.3) ошибка – два одинаковых коэффициента $m1$.

3) Почему при построении АФЧХ разомкнутой системы по дискретной модели автор пользуется равенством (2.21)?

4) В разделе 4.1 «Конструирование печатной платы» автор пишет, что «...для устранения влияния синфазных помех в токоизмерительной цепи

токоизмерительный резистор R1 (рисунок 4.5) поставлен в цепь истока транзистора». Непонятно о каких синфазных помехах идет речь.

6. Заключение

Диссертация Абрамова С.В. посвящена решению актуальной проблемы исследованию динамики понижающего преобразователя постоянного напряжения с одноконтурной системой управления.

Диссертация содержит достоверные результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью в области анализа и синтеза ППН с использованием дискретных передаточных функций понижающего импульсного преобразователя с одноконтурной системой управления и ПИД звеном коррекции в цепи отрицательной обратной связи, полученных с использованием линеаризованных структурных динамических моделей и смешанного z -преобразования, для режимов непрерывного и прерывистого тока.

Замечания, сделанные по диссертации не уменьшают существенно её научную и практическую ценность.

Диссертация Абрамова Сергея Владимировича представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу в области систем электропитания, выполненную автором на высоком научном уровне, в которой на основании проведенных автором исследований получены дискретные передаточные функции ППН с одноконтурной системой управления и ПИД-регулятором, позволяющие рассчитать запасы устойчивости работы ППН и улучшить качество переходных процессов.

Оценивая работу в целом, можно сделать вывод о том, что диссертационная работа Абрамова С.В. по своей научной ценности, оригинальности исследований и значимости результатов соответствует требованиям ВАК РФ к диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук и «Положению о порядке присуждения ученых степеней», а её автор Абрамов Сергей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 – Силовая электроника.

Официальный оппонент
Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры теории электрических
цепей и связи федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Санкт-Петербургский
государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»,
г. Санкт-Петербург

Дмитриков Владимир Федорович

« 27 » _____ мая _____ 2016 г.

Адрес: 193232, г. Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 22, корп. 1

Телефон: +7 (812) 326-31-50

E-mail: dmitrikov_vf@mail.ru