

В. И. Иванчура
Д. В. Капулин
Ю. В. Краснобаев

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ ИМПУЛЬСНЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

Монография

Институт космических и информационных технологий



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Сибирский федеральный университет

В. И. Иванчура, Д. В. Капулин, Ю. В. Краснобаев

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ ИМПУЛЬСНЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

Монография

Красноярск
СФУ
2011

УДК 621.316.722
ББК 32.88.4
И23

Рецензенты:

А. Н. Ловчиков, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой информатики и вычислительной техники ГОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет им. акад. М. Ф. Решетнёва»;

В. С. Кудряшов, д-р техн. наук, проф., зам. нач. отдела ОАО «Информационные спутниковые системы им. акад. М. Ф. Решетнёва»

Иванчура, В. И.

И23

Быстродействующие импульсные стабилизаторы напряжения : монография / В. И. Иванчура, Д. В. Капулин, Ю. В. Краснобаев. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2011. – 172 с.

ISBN 978-5-7638-2317-2

Рассмотрены особенности импульсных стабилизаторов напряжения с оптимальным по быстродействию управлением в составе систем электроснабжения автономных объектов. Разработана универсальная амплитудно-импульсная модель силовых цепей импульсных стабилизаторов напряжения постоянного тока. На ее основе излагается методика синтеза оптимального по быстродействию закона управления модулями. Подробно представлена реализация синтезированных законов с использованием аналоговых и дискретных решений. Приведены результаты экспериментальных исследований с использованием программного схемотехнического моделирования.

Предназначена для научных и инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, разработкой и созданием систем электроснабжения, а также для аспирантов и студентов, обучающихся по направлению подготовки «Управление и информатика в технических системах».

УДК 621.316.722
ББК 32.88.4

ISBN 978-5-7638-2317-2

Сибирский федеральный университет, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава 1. Синтез и исследование оптимальных по быстродействию законов управления импульсными стабилизаторами	7
1.1. Универсальная амплитудно-импульсная модель силовых цепей импульсных стабилизаторов	7
1.2. Синтез оптимального по быстродействию закона управления импульсными стабилизаторами	13
1.3. Влияние нагрузки на оптимальный по быстродействию закон управления	20
1.4. Динамические характеристики быстродействующих импульсных стабилизаторов	26
Глава 2. Реализация синтезированных законов управления в импульсных стабилизаторах напряжения с учетом специфики аналоговой схемотехники	36
2.1. Адаптация закона управления ИСН понижающего типа к изменению входного напряжения	39
2.2. Адаптация закона управления ИСН повышающего типа к изменению входного напряжения	41
2.3. Адаптация закона управления ИСН инвертирующего типа к изменению входного напряжения	43
2.4. Синтез устройства управления ИСН	44
2.5. Определение параметров динамического наблюдателя напряжения на емкости конденсатора выходного фильтра	46
2.6. Определение параметров интегратора сигнала рассогласования по напряжению	47
2.7. Описание модели ИСН понижающего типа	50
2.8. Описание модели ИСН повышающего типа	56
2.9. Уточнение значения постоянной времени T_0 апериодического звена, реализующего ДНН	60
2.10. Определение ограничений на величину коэффициента усиления K_p интегратора сигнала рассогласования по напряжению ...	63
2.11. Методика определения частотных характеристик выходного импеданса ИСН	70
Глава 3. Реализация непрерывного закона управления импульсными стабилизаторами напряжения в устройстве управления с дискретным принципом работы	75
3.1. Особенности цифрового управления процессами	75
3.2. Структурная схема дискретного устройства управления ИСН ...	78

3.3. Дискретизация сигналов. Восстановление непрерывного сигнала по отдельным отсчетам	79
3.4. Определение адекватного количества интервалов дискретизации	82
3.5. Описание моделей ИСН с дискретным управлением	86
3.6. Исследование работоспособности ИСН с дискретным управлением при различном количестве интервалов дискретизации.....	103
3.6.1. Анализ работы экстраполятора информационных сигналов.....	104
3.6.2. Исследование переходных процессов в ИСН понижающего типа	115
3.6.3. Исследование переходных процессов в ИСН повышающего типа	121
3.7. Исследование частотных характеристик модуля выходного импеданса ИСН с дискретным управлением.....	128
3.8. Дискретизация опорного сигнала ШИМ	133
Глава 4. Реализация устройства управления быстродействующим импульсным стабилизатором по дискретным значениям переменных состояния	139
4.1. Алгоритм обработки дискретных значений переменных состояния.....	141
4.2. Моделирование процессов в ИСН с управлением по дискретным значениям переменных состояния.....	144
4.3. Исследование модуля выходного импеданса ИСН с управлением по дискретным значениям переменных состояния	153
Заключение.....	156
Библиографический список	158
Приложения.....	160

ВВЕДЕНИЕ

Источники вторичного электропитания (ИВЭП) широко применяются в различных устройствах для передачи электроэнергии от ее источников и накопителей к потребителям при обеспечении необходимых параметров. Они осуществляют преобразование таких характеристик электрической энергии, как род тока, номинал напряжения и частоты, число выходных каналов и число фаз. Разработчики аппаратуры, в состав которой входят ИВЭП, как правило, предъявляют к ним широкий ряд требований, обычно включающий требования по массе и габаритам, КПД, надежности, ремонтнопригодности и стоимости.

Если ИВЭП решает задачу передачи электроэнергии от ее источников к потребителям, требующим электропитания стабилизированным напряжением постоянного тока, то в состав такого ИВЭП входит стабилизатор напряжения, регулирующий элемент которого может работать в непрерывном или импульсном режимах. В качестве регулирующего элемента в современных стабилизаторах обычно используются транзисторы.

Стабилизаторы напряжения с регулирующим элементом, работающим в непрерывном режиме, позволяют обеспечить низкий уровень пульсаций и высокую стабильность напряжения на выходе ИВЭП в статическом режиме работы и малые амплитуду и длительность отклонения выходного напряжения в динамических режимах работы, вызванных коммутацией потребителей энергии. Такие стабилизаторы имеют и ряд недостатков. Важнейший из них – низкий КПД, вследствие чего требуется, во-первых, решение задачи по отводу тепла от регулирующего элемента стабилизатора и, во-вторых, увеличение мощности первичного источника энергии, питающего ИВЭП. Всё это увеличивает массу, габариты и стоимость как ИВЭП, так и изделия в целом.

Стабилизаторы напряжения с регулирующим элементом, работающим в импульсном режиме, – импульсные стабилизаторы напряжения (ИСН) имеют высокий КПД, низкие удельные значения массы, габаритов и стоимости. Однако они, как правило, уступают стабилизаторам с непрерывным режимом работы регулирующего элемента по уровню пульсаций напряжения на выходе в статическом режиме работы и амплитуде и длительности отклонения выходного напряжения в динамических режимах работы.

При повышенных требованиях к КПД и качеству напряжения на выходе ИВЭП в его состав включают стабилизаторы напряжения, имеющие два регулирующих элемента, один из которых работает в импульсном режиме, другой – в непрерывном. Фактически в таком стабилизаторе осуществляется последовательное включение ИСН и стабилизатора с непрерывным режимом работы регулирующего элемента. Причем посредством ИСН

осуществляется предварительная стабилизация напряжения на уровне, незначительно превышающем требуемый уровень напряжения на выходе ИВЭП, а окончательная стабилизация напряжения на требуемом уровне и с высоким качеством обеспечивается стабилизатором с непрерывным режимом работы регулирующего элемента. Благодаря малому уровню падения напряжения на регулирующем элементе обеспечивается относительно высокий КПД непрерывного стабилизатора.

Совмещение достоинств ИСН и непрерывных стабилизаторов в одном стабилизаторе позволяет улучшить ряд его характеристик, но существенно усложняет схемотехнику, что в конечном итоге приводит к удорожанию стабилизатора и снижению его надежности и ремонтпригодности. Поэтому такие стабилизаторы находят ограниченное применение.

В то же время совершенствование ИСН позволяет существенно улучшить их динамические и статические характеристики и приблизить их к уровню, обеспечиваемому непрерывными стабилизаторами. Это достигается, во-первых, за счет применения современной элементной базы и схемотехнических решений, позволяющих поднять частоту переключения силовых транзисторов до нескольких сотен килогерц и, во-вторых, за счет применения новых законов управления регулирующим элементом, позволяющих минимизировать длительность переходных процессов.

Настоящая монография посвящена исследованию особенностей импульсных стабилизаторов напряжения с оптимальным по быстродействию управлением в составе систем электроснабжения автономных объектов.

В первой главе монографии рассматривается методика синтеза законов управления ИСН с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), основанная на теории систем автоматического управления с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ). Для ИСН с тремя основными топологиями силовых цепей – понижающего, повышающего и инвертирующего типов – осуществляется синтез последовательного корректирующего устройства, обеспечивающего ИСН минимальную конечную длительность переходных процессов при возмущающих воздействиях в виде ступенчатых изменений тока нагрузки и входного напряжения. Приводятся результаты исследований динамических характеристик ИСН с использованием амплитудно-импульсной модели.

Вторая, третья и четвертая главы монографии посвящены вопросам реализации синтезированного закона управления ИСН с ШИМ. Рассмотрены варианты реализации закона управления по мгновенным и дискретным значениям координат состояния. Первый вариант реализации предполагает использование аналоговых схемотехнических решений при построении ИСН, второй вариант предназначен для создания устройств управления ИСН на основе микроконтроллерной техники.