

На правах рукописи

АСАДУЛЛИН Виталий Маратович

**КОМБИНИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ
С ЭЛЕМЕНТАМИ ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ БЕСКОНТАКТНЫХ
СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ**

Специальность:

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа - 2009

Работа выполнена в ГОУ ВПО “Уфимский государственный авиационный технический университет” на кафедре электрооборудования летательных аппаратов и наземного транспорта

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Утляков Геннадий Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Костюкова Татьяна Петровна

кандидат технических наук, доцент
Шабанов Виталий Алексеевич

Ведущее предприятие: ООО НИИ ТС «Пилот», г. Уфа

Защита состоится «05» июня 2009г. в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д-212.288.02 при Уфимском государственном авиационном техническом университете по адресу: 450000, г. Уфа, ул. К.Маркса, 12.

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке УГАТУ.

Автореферат разослан «___» _____ 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета д-р техн. наук, профессор

Г.Н.Утляков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Развитие электротехнических комплексов приводит к увеличению количества потребителей электрической энергии. В настоящее время практически все бортовое оборудование летательного аппарата (ЛА) является потребителем электрической энергии. Одновременно повышается мощность оборудования и, следовательно, увеличивается общее энергопотребление ЛА. При этом растут и требования к качеству электрической энергии. Система электроснабжения (СЭС) должна обеспечивать эффективное и безопасное их функционирование в широком диапазоне внешних воздействий при качестве электроэнергии, соответствующем требованиям ГОСТ 19705-89 – «Системы электроснабжения самолетов и вертолетов».

На современных летательных аппаратах широко применяется цифровое бортовое оборудование (микропроцессорная вычислительная техника, цифровые системы передачи, обработки и отображения информации), мощное радиоэлектронное и электрическое оборудование, работающее в импульсных режимах. Импульсные режимы работы мощного бортового оборудования негативно сказываются на качестве электрической энергии: увеличивают время переходных процессов, увеличивают провалы и выбросы при подключении и отключении, что повышает требования к системам регулирования, среди которых такие как: точность стабилизации напряжения, выбросы и провалы в переходных режимах работы, время переходных процессов.

В настоящее время на борту летательных аппаратов применяются системы регулирования напряжения по отклонению. Следующим шагом в развитии систем регулирования напряжения являются комбинированные системы регулирования напряжения, совмещающие в себе регулирование как по отклонению, так и по возмущению. Примером комбинированной системы регулирования напряжения является система гармонического компаундирования, в которой изменение величины тока и коэффициента мощности нагрузки одновременно изменяет напряжение гармонической обмотки и соответственно напряжение возбуждения возбuditеля и генератора.

Дальнейшее развитие и совершенствование регуляторов напряжения, а также других систем автоматического регулирования (САР) связано с использованием цифровых способов управления, реализуемых с помощью микро ЭВМ или микропроцессоров. По сравнению с аналоговыми, цифровые САР имеют ряд преимуществ, основными из которых являются высокая точность, помехозащищенность, возможность реализации сложных алгоритмов управления и гибкой перестройки структуры, простота коррекции. При этом открываются широкие перспективы для построения оптимальных и адаптивных

САР с элементами искусственного интеллекта, расширения возможностей контроля и диагностики основных элементов СЭС.

Известны работы отечественных и зарубежных авторов, таких как Ю.А. Борцов, А.А. Юрганов, И.А. Приходько, S. Arnalte, Ching-Tzong Su, Chein-Tung Lin, Y.Y.Hsu, C.R.Chen и др., посвященные применению теории и разработке систем регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта. Использование систем регулирования напряжения с нечеткой логикой и нейронными сетями позволяет улучшить динамику процессов регулирования напряжения; уменьшить время переходных процессов, уменьшить провалы и выбросы напряжения при внезапном подключении и отключении нагрузки.

Более широкое применение комбинированных систем регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта ограничено отсутствием математических моделей для анализа процессов регулирования напряжения в статических и динамических режимах работы, а также отсутствием экспериментальных исследований комбинированных систем регулирования напряжения с использованием элементов искусственного интеллекта для бесконтактных синхронных генераторов (БСГ).

Поэтому разработка математических моделей и анализ комбинированных систем регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта, обеспечивающих повышение качества электрической энергии, разработка новых технических решений по созданию систем регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта является актуальной научной задачей.

Основания для выполнения работы. Диссертационная работа выполнена в Уфимском государственном авиационном техническом университете по плану научно-исследовательских работ по темам АП-ЭМ-12-05-ОЗ/б и № АП-ЭМ-12-08-ОЗ/б.

Цель работы – разработка, теоретическое и экспериментальное исследование комбинированных систем регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта для бесконтактных синхронных генераторов, обеспечивающих повышение качества электрической энергии.

Для достижения указанной цели в работе были поставлены следующие **основные задачи**:

1. Определение путей построения комбинированных систем регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта для бесконтактных синхронных генераторов;

2. Разработка математических моделей комбинированных систем регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта, позволяющих проводить исследования процессов регулирования напряжения в статических и динамических режимах работы;

3. Моделирование процессов регулирования напряжения бесконтактных синхронных генераторов с комбинированными системами регулирования с элементами искусственного интеллекта в статических и динамических режимах работы, позволяющее оценить качество регулирования напряжения;

4. Разработка экспериментальных образцов с комбинированными системами регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта. Проведение экспериментальных исследований бесконтактных синхронных генераторов с комбинированными системами регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта;

5. Разработка новых технических решений комбинированных систем регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта для бесконтактных синхронных генераторов.

Методы исследований. Теоретические исследования проведены методами математического моделирования электромагнитных процессов. При исследовании статических и динамических режимов работы БСГ с комбинированными системами регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта использована среда «*MatLab*» с пакетом расширений «*Simulink*», «*Neural Network*», «*Fuzzy Logic*», теория нечетких множеств, теория нечеткой логики, программирование и компьютерное моделирование.

На защиту выносятся:

1. Рекомендации по построению комбинированных систем регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта для бесконтактных синхронных генераторов;

2. Разработанные математические модели комбинированных систем регулирования напряжения с использованием нечеткой логики и нейронных сетей для бесконтактных синхронных генераторов, позволяющие проводить исследования процессов регулирования напряжения в статических и динамических режимах работы;

3. Результаты математического моделирования процессов регулирования напряжения бесконтактных синхронных генераторов с комбинированными системами регулирования напряжения с использованием нечеткой логики и нейронных сетей, подтверждающие, что применение комбинированных систем регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта повышает качество регулирования напряжения в статических режимах работы, уменьшает провалы напряжения в переходных режимах работы, уменьшает время переходных процессов;

4. Результаты экспериментальных исследований комбинированных систем регулирования напряжения с нечеткой логикой и нейронными сетями для бесконтактных синхронных генераторов, подтверждающие, что

применение комбинированных систем регулирования напряжения с использованием нечеткой логики и нейронных сетей позволяет повысить точность регулирования напряжения в статических режимах работы, уменьшить время регулирования в 3 раза и провалы напряжения в 1,5 раза при внезапном подключении нагрузки в сравнении со штатной аппаратурой регулирования;

5. Новые технические решения комбинированных систем регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта для бесконтактных синхронных генераторов, защищенные патентами РФ.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработаны и экспериментально подтверждены математические модели систем регулирования напряжения, позволяющие, в отличие от существующих, проводить исследования комбинированных систем регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта для БСГ в статических и динамических режимах работы;

2. Результаты математического моделирования процессов регулирования напряжения бесконтактных синхронных генераторов с комбинированными системами регулирования напряжения с нечеткой логикой и нейронными сетями, подтверждающие, что применение комбинированных систем регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта повышает качество регулирования напряжения в статических режимах работы, уменьшает провалы напряжения в переходных режимах работы, уменьшает время переходных процессов;

3. Предложены новые технические решения комбинированных систем регулирования напряжения для бесконтактных синхронных генераторов с элементами искусственного интеллекта, защищенные патентами Российской Федерации (№ 66871, № 65318, № 65317, № 75519, № 81398).

Практическую ценность имеют:

1. Рекомендации по созданию комбинированных систем регулирования напряжения с использованием нечеткой логики и нейронной сети;

2. Разработка математических моделей комбинированных систем регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта для бесконтактных синхронных генераторов, позволяющих проводить анализ качества регулирования напряжения;

3. Разработка, практическая реализация в виде экспериментальных образцов и исследование комбинированных систем регулирования напряжения магнитоэлектрического генератора с использованием нечеткой логики и нейронной сети;

4. Разработка новых технических решений комбинированных систем регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта для

бесконтактных синхронных генераторов, как для одиночной, так и для параллельной работы, защищенные патентами Российской Федерации.

Достоверность научных положений, выводов и результатов работы подтверждена экспериментальными исследованиями опытных образцов комбинированных систем регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта.

Реализация результатов работы. Материалы диссертационной работы используются для разработки систем регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта в ООО НИИ ТС «Пилот». Результаты работы используются в учебном процессе УГАТУ по специальности 181100 – Электрооборудование летательных аппаратов.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на научных конференциях различного уровня. Среди них:

Молодежная научная конференция “XXX Гагаринские чтения” Москва, 2004;

Вторая региональная зимняя школа-семинар аспирантов и молодых ученых, Уфа, 2007;

XX Международная научная конференция “Математические методы в технике и технологиях”, Ярославль, 2007;

Proceedings of the 9 International Workshop on Computer Science and Information Technologies, Krasnounsolsk, Ufa, 2007;

Всероссийская научно-техническая конференция “Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий”, Уфа, 2007;

Международная научно-техническая конференция “Китайско-Российское научно-техническое сотрудничество. Наука-образование-инновации”. КНР, Харбин-Санья, 2008.

Всероссийская молодежная научная конференция “Мавлютовские чтения”, Уфа, 2008.

Всероссийская научно-техническая конференция “Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий”, Уфа, 2009.

Публикации по теме диссертации. Основные положения, выводы и практические результаты изложены в 19 публикациях: в 6 научных статьях, из которых 2 опубликованы в изданиях из перечня ВАК, материалах 8 научно-технических конференций; получено 5 патентов РФ на полезные модели.

Структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 97 источников и 7 приложений общим объемом 146 страниц. В работе содержится 64 рисунка и 9 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выполненной научной работы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены научные результаты, выносимые на защиту, указана их научная новизна и практическая ценность.

В первой главе проведен анализ возможных вариантов построения систем регулирования напряжения, рассмотрены системы регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта для БСГ. Из экспертных систем, нечеткой логики, нейронных сетей и генетических алгоритмов в результате проведенного анализа целесообразно использовать нечеткую логику и нейронные сети. Преимущество нечеткой логики (НЛ) проявляется в простоте представления человеческих знаний в виде правил, нейронных сетей (НС) в скорости работы из-за свойственного им параллелизма вычислений. Проведен обзор и анализ отечественных и зарубежных работ в области применения систем регулирования напряжения с НЛ и НС для синхронных генераторов.

Проведенный анализ систем регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта позволил определить основные задачи, решение которых позволит создать комбинированные системы регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта, повышающих качество электрической энергии: повышение точности регулирования напряжения, уменьшение времени регулирования и провалов напряжения при внезапном подключении нагрузки.

Во второй главе разработаны математические модели комбинированных систем регулирования напряжения на основе нечеткой логики и нейронной сети для бесконтактного синхронного генератора с вращающимися выпрямителями и магнитоэлектрического генератора, выполненных по схеме, предложенной автором диссертации и защищенной патентом РФ на полезную модель, и представленной на рисунке 1.

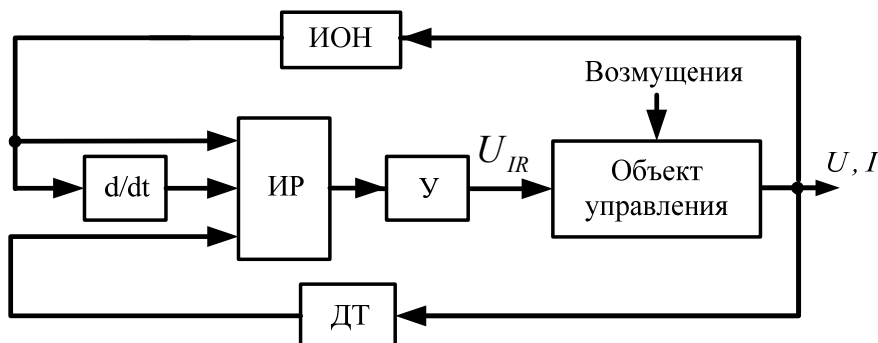


Рисунок 1 - Двухканальная система регулирования

ИОН – измерительный орган напряжения, ДТ – датчик тока, У – усилитель,
ИР – интеллектуальный регулятор, d/dt - дифференциатор

Исходя из значений сигналов с данных датчиков, интеллектуальный регулятор, построенный с использованием нечеткой логики или с использованием нейронной сети или должен выдавать сигнал, который через усилитель должен привести выходной сигнал объекта регулирования к номинальному значению.

Переходный процесс в БСГ с вращающимися выпрямителями рассматривался в два этапа: при внезапном подключении нагрузки и отключенной системе регулирования; при внезапном подключении нагрузки и включенной системе регулирования с элементами искусственного интеллекта.

Выражение для определения напряжения бесконтактного генератора без учета воздействия интеллектуальной системы управления имеет вид:

$$U_{Г1} = \frac{z_q \cdot z \cdot u_{q0}}{x_d \cdot x_q + r^2} \cdot \left[\left(\frac{x_d \cdot x_q + r^2}{x_d \cdot x_q + r^2} - 1 \right) \cdot e^{-t/T'_{BG}} + 1 \right]. \quad (1)$$

Изменение напряжения генератора под действием управляющего сигнала системы регулирования с использованием НЛ или НС будет определяться выражением

$$U_{Г2} = \frac{z_q \cdot z \cdot z_{qB} \cdot z_B \cdot U_{IR}}{(x_d \cdot x_q + r^2)(x_{dB} \cdot x_{qB} + r_B^2)} \times \left[1 - \frac{T_{BG}'^2 \cdot e^{-t/T'_{BG}}}{(T'_{BG} - T'_{BB})} - \frac{T_{BB}'^2 \cdot e^{-t/T'_{BB}}}{(T'_{BB} - T'_{BG})} \right], \quad (2)$$

где U_{IR} - управляющий сигнал интеллектуального регулятора.

Зависимость напряжения на зажимах основной обмотки бесконтактного генератора с интеллектуальной системой регулирования напряжения после подключения нагрузки будет иметь вид

$$U_G = U_{Г1} + U_{Г2} = K_1 \cdot U_{q0} \cdot \left[(K_2 - 1) \cdot e^{-t/T'_{BG}} + 1 \right] + K_1 \cdot K_3 \cdot U_{IR} \cdot F(t), \quad (3)$$

где $K_1 = \frac{z_q \cdot z}{x_d \cdot x_q + r^2}$, $K_2 = \frac{x_d \cdot x_q + r^2}{x_d' \cdot x_q + r^2}$, $K_3 = \frac{z_{qB} \cdot z_B}{x_{dB} \cdot x_{qB} + r_B^2}$.

Значение сигнала управления U_{IR} при данном типе и значении нагрузки возможно реализовать знаниями экспертов, заключенных в виде обучающей выборки для нейронной сети, или в виде правил “если-то-иначе” в базе правил нечеткого контроллера.

Математическая модель магнитоэлектрического генератора имеет вид

$$\frac{U_H^2}{E_0^2(I_{IR})} + \frac{I_H^2}{(I_K - I_{IR})^2} + 2 \frac{U_H I_H}{E_0(I_{IR})(I_K - I_{IR})} \cos(\varphi - \beta_d) = 1, \quad (4)$$

где I_{IR} - выходной сигнал системы регулирования.

Для регуляторов с НЛ и НС бесконтактного генератора с вращающимися выпрямителями и магнитоэлектрического генератора определены функции принадлежности для НЛ и созданы обучающие выборки для НС на основе регулировочных характеристик (рисунок 2).

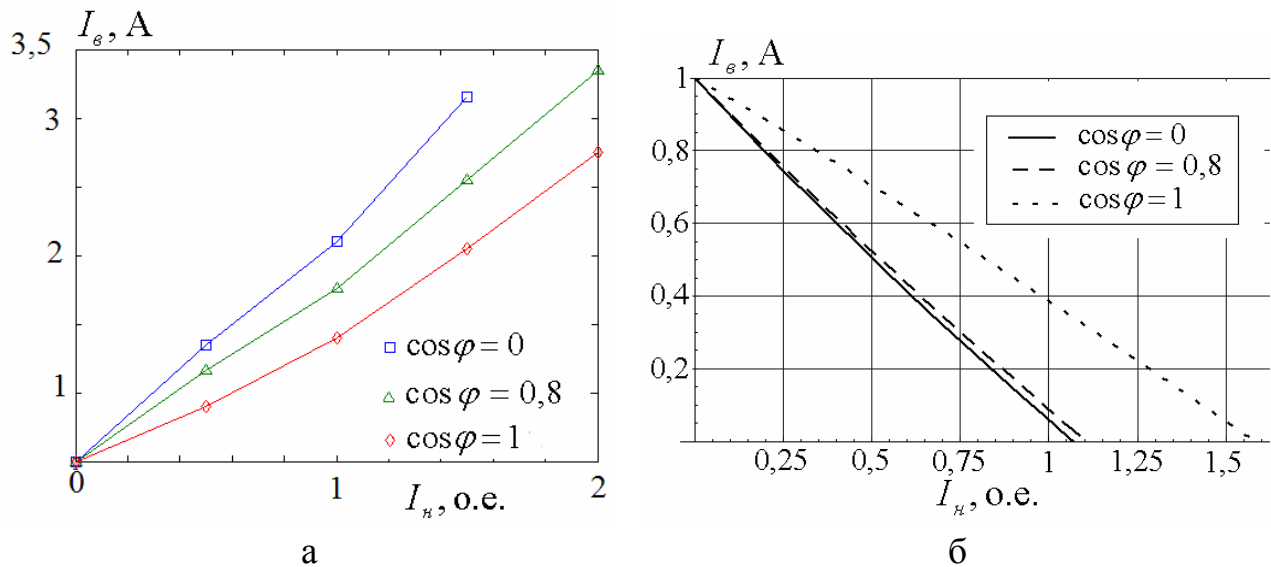


Рисунок 2 - Регулировочные характеристики

a - для БСГ с вращающимися выпрямителями, *б* - для магнитоэлектрического генератора

Математические модели регуляторов напряжения с использованием НЛ и НС можно представить в виде визуализации поверхности нечеткого вывода (НЛ) (рисунок 3) и схем нейронных сетей (рисунок 4).

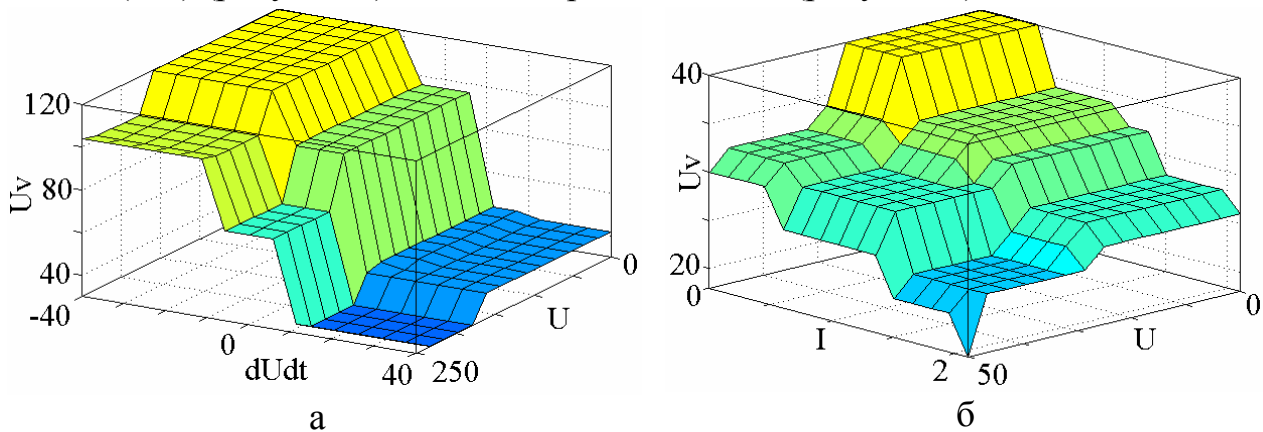


Рисунок 3 - Визуализация поверхностей нечеткого вывода регуляторов с НЛ
a - для БСГ с вращающимися выпрямителями, *б* - для магнитоэлектрического генератора

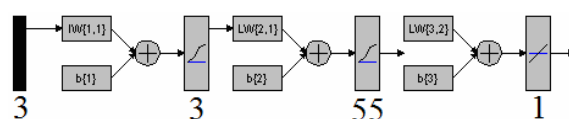


Рисунок 4 - Структура нейронных сетей регуляторов с НС для БСГ с вращающимися выпрямителями и для магнитоэлектрического генератора

В третьей главе приведены результаты исследований процессов регулирования напряжения в бесконтактном генераторе с вращающимися выпрямителями и в магнитоэлектрическом генераторе в статических и динамических режимах работы по разработанным математическим моделям.

Математическая модель комбинированной системы регулирования напряжения БСГ, реализованная в SIMULINK, показана на рисунке 5.

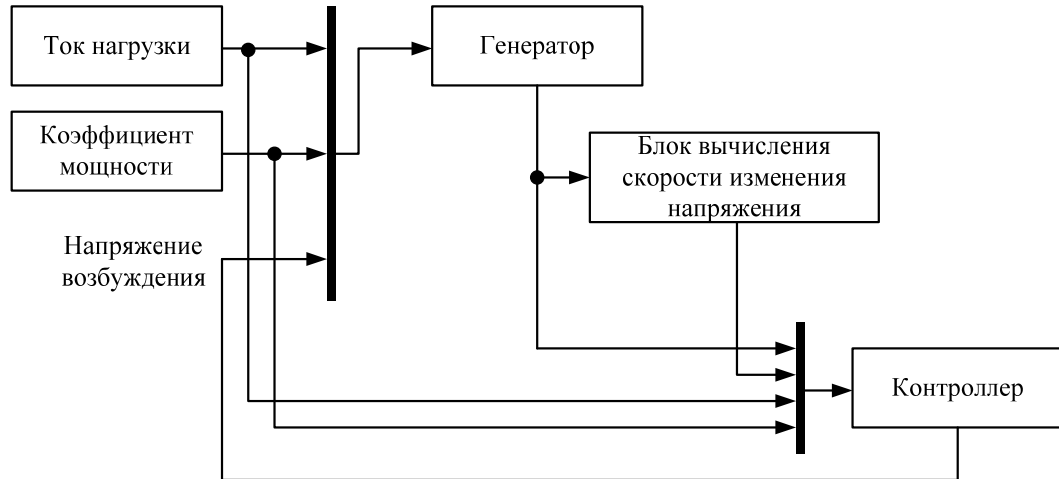


Рисунок 5 - Модель системы регулирования напряжения БСГ

Путем моделирования в статических режимах работы установлено, что погрешность регулирования напряжения бесконтактных синхронных генераторов с комбинированными системами регулирования с использованием нечеткой логики и нейронных сетей при изменении нагрузки с номинальным коэффициентом мощности от нуля до 2-х номиналов не превышает $\pm 0,5\%$.

На рисунке 6 приведены расчетные зависимости изменения напряжения при внезапном подключении номинальной нагрузки на зажимы БСГ с вращающимися выпрямителями, работающего с регулятором напряжения с использованием НЛ и НС.

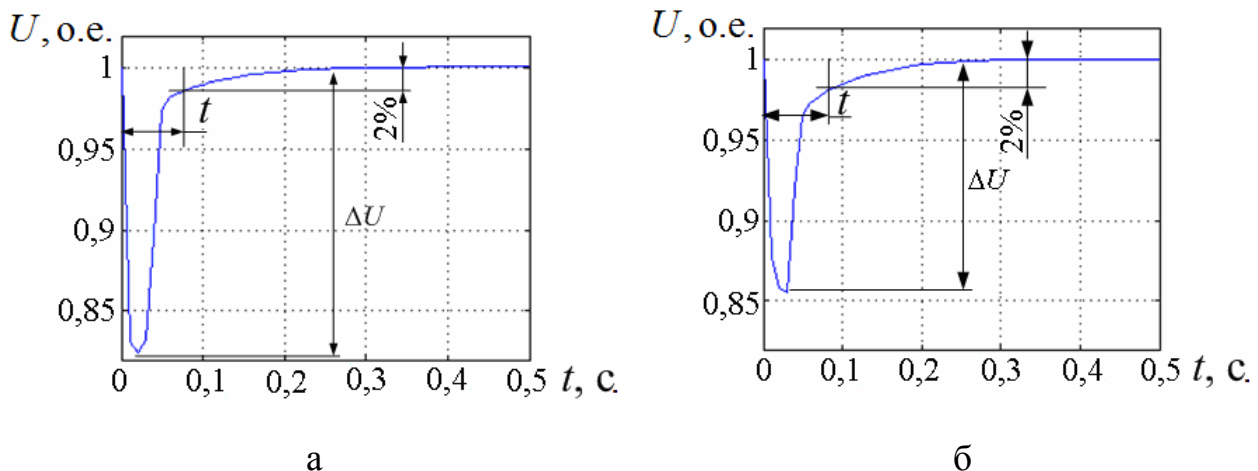


Рисунок 6 - Расчетные зависимости изменения напряжения синхронного генератора при подключении номинальной нагрузки с $\cos\varphi=0,8$
 а – с использованием нечеткой логики, б – с использованием нейронной сети

В таблице 1 приведены результаты моделирования процессов регулирования напряжения бесконтактного генератора с вращающимися выпрямителями с регуляторами напряжения с использованием нечеткой логики и нейронной сети и результаты экспериментальных исследований генератора при работе со штатной аппаратурой регулирования напряжения при внезапном подключении номинальной нагрузки на зажимы генератора при номинальном коэффициенте мощности нагрузки.

Таблица 1

Моделирование процессов регулирования напряжения бесконтактного генератора с вращающимися выпрямителями

$I, \text{о.е.}$	Штатная система		Нечеткий регулятор		Нейронная сеть	
	$\Delta U, \%$	$t, \text{с}$	$\Delta U, \%$	$t, \text{с}$	$\Delta U, \%$	$t, \text{с}$
0,5	15,5	0,09	15,0	0,07	12,0	0,1
1,0	21,1	0,105	17,0	0,08	14,0	0,1
1,5	38,0	0,135	18,0	0,085	22,0	0,11
2,0	46,6	0,196	20,0	0,09	20,0	0,12

Результаты моделирования показывают, что комбинированные системы регулирования с НЛ и НС позволяют обеспечить высокое быстродействие регулирования напряжения генератора при внезапно изменяющихся нагрузках, в 2 раза уменьшая время регулирования, в 2,5 раза уменьшая провалы напряжения при нагрузке до 2-х номиналов по сравнению со штатной аппаратурой регулирования напряжения, что позволяет рекомендовать ее для использования в источниках питания, работающих на внезапно изменяющиеся нагрузки.

В четвертой главе рассмотрены вопросы практической реализации систем регулирования синхронных генераторов с элементами искусственного интеллекта.

Для оценки результатов моделирования были созданы экспериментальные образцы регуляторов напряжения, реализующие управление с нечеткой логикой и нейросетями по схеме, приведенной на рисунке 7.

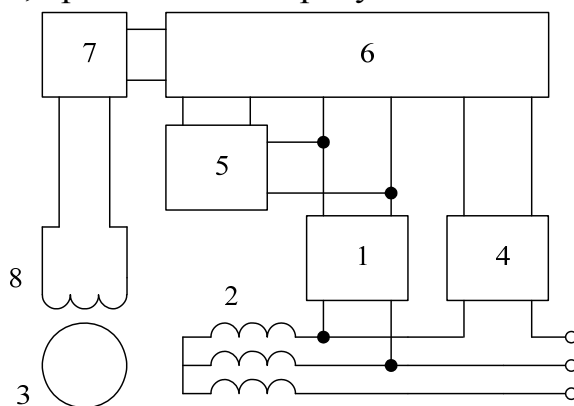


Рисунок 7 - Регулятор напряжения синхронного генератора

На рисунке 7: 1 – измерительный орган напряжения, 2 – основная обмотка, 3 – синхронный генератор, 4 – датчик тока нагрузки, 5 – вычислитель скорости изменения напряжения, 6 – нечеткий контроллер, 7 – усилитель мощности, 8 – обмотка возбуждения

На рисунке 8 приведена функциональная схема регулятора напряжения магнитоэлектрического генератора и подключение его к генератору.

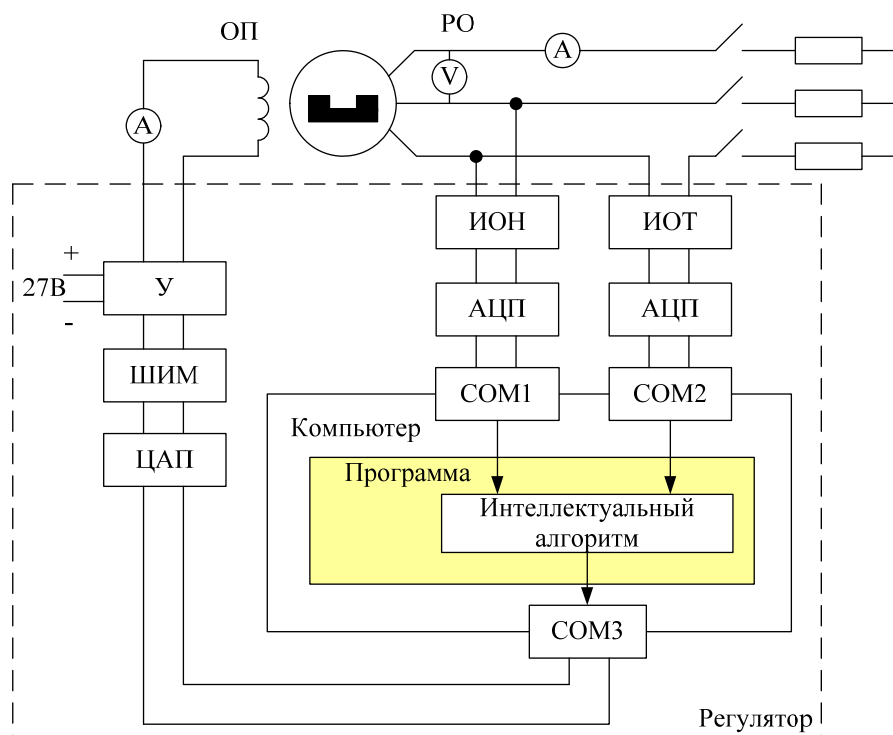


Рисунок 8 - Функциональная схема регулятора напряжения

ОП – обмотка подмагничивания, РО – рабочая обмотка, ИОН – измерительный орган напряжения; ИОТ – измерительный орган тока; АЦП1, АЦП2 – аналого-цифровые преобразователи; COM1, COM2, COM3 – последовательные порты системного блока; ШИМ – широтно-импульсный модулятор; У – усилитель

Проведены экспериментальные исследования штатной и предлагаемых комбинированных систем регулирования напряжения в статических и динамических режимах работы.

Получено, что погрешность регулирования напряжения в статических режимах работы магнитоэлектрического генератора с комбинированными системами регулирования напряжения с использованием нечеткой логики и нейронных сетей при изменении нагрузки от нуля до номинала не превышает $\pm 0,5\%$, что в 4 раза меньше, чем в регуляторе со штатной полупроводниковой аппаратурой регулирования напряжения.

На рисунке 9 приведены экспериментальные зависимости процессов регулирования напряжения при внезапном подключении номинальной нагрузки на зажимы магнитоэлектрического генератора.

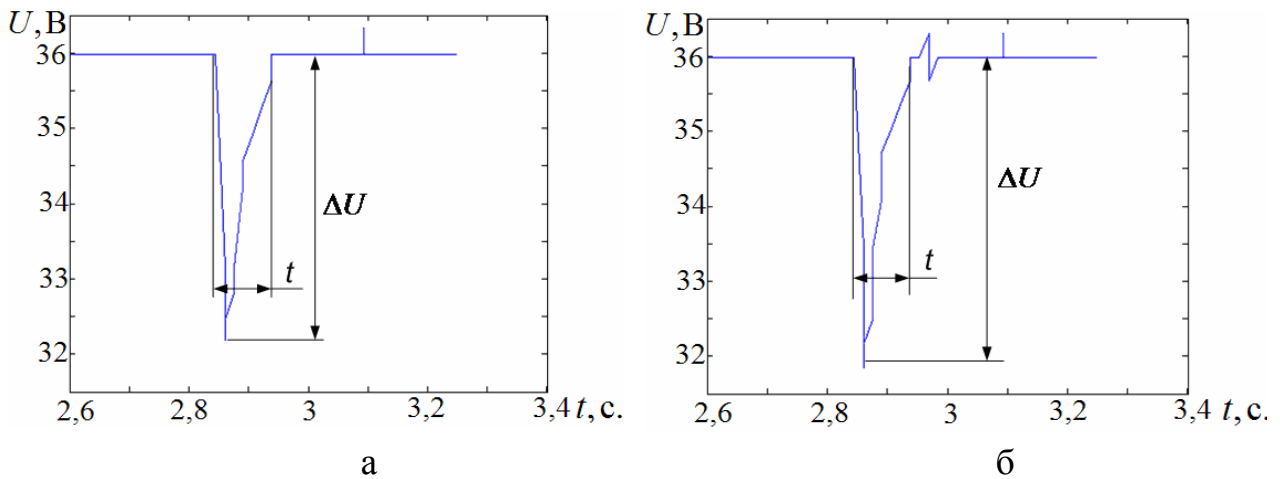


Рисунок 9 - Экспериментальные зависимости изменения напряжения синхронного генератора

a – с использованием нечеткой логики, *б* – с использованием нейронной сети

Результаты экспериментальных исследований процессов регулирования напряжения с использованием штатного регулятора и регуляторов с использованием нечеткой логики и нейронной сети при динамических режимах работы приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты испытаний систем регулирования напряжения магнитоэлектрического генератора

Ток нагрузки, о.е.	Штатная аппаратура			Нечеткая логика			Нейронная сеть		
	$U_{уст},$ В	$\Delta U,$ %	$t,$ с	$U_{уст},$ В	$\Delta U,$ %	$t,$ с	$U_{уст},$ В	$\Delta U,$ %	$t,$ с
0,25	36,4	7,5	0,3	36,00	7,0	0,07	36,00	6,5	0,08
0,5	35,7	12,5	0,3	35,95	8,0	0,09	35,93	8,0	0,09
0,75	35,5	14,1	0,3	35,90	9,0	0,1	35,89	9,0	0,1
1	35,3	15,0	0,3	35,85	10,0	0,11	35,84	10,0	0,1

Приведенные данные показывают, что время регулирования напряжения с комбинированной системой регулирования с НЛ и НС при подключении нагрузки уменьшается в 3 раза. Провалы напряжения уменьшаются в 1,5 раза. Для получения электрической энергии более высокого качества необходимо задать соответствующие правила в базе правил нечеткого контроллера либо переобучить нейронную сеть на соответствующей обучающей выборке. Это позволяет рекомендовать регуляторы напряжения с НЛ и НС для построения систем регулирования напряжения любых типов синхронных генераторов.

Предложены новые технические решения комбинированных систем регулирования напряжения с использованием нечеткой логики и нейронных сетей для синхронных генераторов, обеспечивающие повышение качества регулирования напряжения при изменении тока нагрузки и равномерную загрузку синхронных генераторов при параллельной работе – патенты №65318, №65317, №66871, №75519, № 81398.

В приложениях приведены разработанные в среде Matlab математические модели и результаты моделирования систем регулирования напряжения с использованием НЛ и НС для БСГ, исходные коды программ для написания библиотек связи среды Matlab с СОМ портами компьютера, для микроконтроллеров, необходимых для практической реализации систем регулирования напряжения БСГ как с использованием нечеткой логики, так и нейронных сетей.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Установлено, что при построении комбинированных систем регулирования напряжения с элементами искусственного интеллекта для бесконтактных синхронных генераторов целесообразно использовать цифровые системы с использованием нечеткой логики и искусственных нейронных сетей, достоинствами которых является простота представления человеческих знаний в виде правил для случая использования нечеткой логики, параллельная обработка данных для случая использования нейронных сетей, простота реализации.

2. Разработаны математические модели комбинированных систем регулирования напряжения с использованием нечеткой логики и нейронных сетей для бесконтактных синхронных генераторов, позволяющие проводить исследования процессов регулирования напряжения бесконтактных синхронных генераторов в статических и динамических режимах работы.

3. Путем математического моделирования установлено, что:

- в статических режимах работы бесконтактных синхронных генераторов с вращающимися выпрямителями и магнитоэлектрических генераторов с комбинированными системами регулирования напряжения с использованием нечеткой логики и нейронных сетей погрешность регулирования напряжения при изменении нагрузки с номинальным коэффициентом мощности от нуля до 2-х номиналов не превышает $\pm 0,5\%$.

- в динамических режимах работы бесконтактных генераторов с вращающимися выпрямителями с комбинированными системами регулирования с использованием нечеткой логики и нейронных сетей при подключении нагрузок от 0 до $2I_n$ с различными коэффициентами мощности время регулирования не более 0,1 с., что быстрее времени регулирования

напряжения при использовании штатного регулятора более чем в 2 раза; провалы напряжения не превышают 20% от номинального значения, что в 2,5 раза меньше, чем в генераторах со штатной аппаратурой регулирования.

4. Разработаны, практически реализованы в виде экспериментальных образцов и исследованы комбинированные системы регулирования напряжения с использованием нечеткой логики и нейронной сети магнитоэлектрического генератора в статических и динамических режимах работы. Путем экспериментальных исследований установлено, что:

- в статических режимах работы погрешность регулирования напряжения магнитоэлектрического генератора с комбинированными системами регулирования с использованием нечеткой логики и нейронных сетей не превышает $\pm 0,5\%$, что в 4 раза лучше, чем в регуляторе со штатной полупроводниковой аппаратурой регулирования напряжения;
- в динамических режимах работы провалы напряжения не превышают 20% от номинального значения, что в 1,5 раза меньше, чем в генераторах со штатной аппаратурой регулирования;
- быстродействие комбинированной системы регулирования более чем в 3 раза превосходит быстродействие штатной аппаратуры регулирования;
- в статических режимах расхождение между экспериментальными и результатами моделирования не превышает 10÷15 %, что подтверждает достоверность разработанных математических моделей.

5. Предложены новые технические решения по созданию комбинированных систем регулирования напряжения с использованием нечеткой логики и нейронных сетей как для одиночной, так и для параллельной работы бесконтактных синхронных генераторов, обеспечивающих повышение качества регулирования напряжения при изменении тока нагрузки (патенты на полезные модели № 66871, № 65318, № 65317, № 75519, № 81398).

Основные результаты диссертации опубликованы в работах

В изданиях из перечня ВАК:

1. Системы регулирования напряжения синхронного генератора с использованием нечеткой логики / Асадуллин В.М. // Вестник УГАТУ. Т 8 № 1. Уфа: УГАТУ, 2006. С. 27–30.
2. Разработка и исследование интеллектуальных систем регулирования напряжения синхронных генераторов / Утляков Г.Н., Валеев А.Р., Асадуллин В.М.// Вестник УГАТУ. Т 10 № 1 (26). Уфа: УГАТУ, 2008. С. 174–179.

В других изданиях:

3. Интеллектуальные системы управления синхронными генераторами / Утляков Г.Н., Асадуллин В.М. // XXX Гагаринские чтения: Молодежная научная конференция. Москва, 2004. Т.5, С. 74.
4. О построении систем интеллектуального управления и регулирования синхронных генераторов / Утляков Г.Н., Асадуллин В.М. // Электротехнические комплексы и системы: межвуз. науч. сб. Уфа: УГАТУ, 2005. С. 52–56.
5. Применение нечеткой логики в системах регулирования напряжения синхронных генераторов / Утляков Г.Н., Асадуллин В.М. // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: межвуз. науч. сб. Уфа: УГАТУ, 2006. С. 14–19.
6. Применение нейронных сетей в системах регулирования напряжения синхронных генераторов / Утляков Г.Н., Асадуллин В.М. // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: межвуз. науч. сб. Уфа: УГАТУ, 2006. С. 86–91.
7. Использование нейронных сетей для построения систем регулирования напряжения бесконтактных синхронных генераторов / Асадуллин В.М. // Интеллектуальные системы обработки информации и управления: Сборник статей 2-ой региональной зимней школы-семинара аспирантов и молодых ученых, – Уфа: Изд-во “Технология”, 2007. – Т.1. – С. 241–244.
8. Применение интеллектуальных систем управления в системах регулирования авиационных генераторов / Утляков Г.Н., Валеев А.Р., Асадуллин В.М. // Математические методы в технике и технологиях: XX Международная научная конференция. Ярославль: ЯГТУ, 2007. – Т.2. – С. 198–200.
9. Моделирование систем регулирования напряжения с использованием нейронной сети / Утляков Г.Н., Валеев А.Р., Асадуллин В.М. // Международная конференция по информатике и информационным технологиям. Красноусольск, Уфа, 2007. – С. 55-58. (На английском языке).
10. Патент на полезную модель № 66871 (РФ) МПК Н 02 Р 9/30, Н 02 Р 9/34. Регулятор напряжения синхронного генератора / Г.Н. Утляков, В.М. Асадуллин, А.Р. Валеев, Д.С. Дильмухаметов, Р.Ф. Нуруллин. Опубл. 10.10.2007. Бюл. № 28.
11. Патент на полезную модель № 65317 (РФ) МПК Н 02 Р 9/30, Н 02 Р 9/34. Регулятор возбуждения синхронного генератора / Г.Н. Утляков, Д.С. Дильмухаметов, Р.Ф. Нуруллин, А.Р. Валеев, В.М. Асадуллин. Опубл. 27.07.2007. Бюл. № 21.

12. Патент на полезную модель № 65318 (РФ) МПК Н 02 Р 9/30, Н 02 Р 9/34. Устройство регулирования возбуждения синхронного генератора / Г.Н. Утляков, Р.Ф. Нуруллин, Д.С. Дильмухаметов, А.Р. Валеев, В.М. Асадуллин. Оpubл. 27.07.2007. Бюл. № 21.

13. Интеллектуальные регуляторы напряжения синхронных генераторов / Утляков Г.Н., Валеев А.Р., Асадуллин В.М. // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий: всероссийская научно-техническая конференция, 15-16 ноября 2007 г.: труды в 2 т. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2007. – Т.1. – С. 58–62.

14. Интеллектуальные системы регулирования напряжения синхронных генераторов бесконтактных генераторов / Утляков Г.Н., Асадуллин В.М. // Материалы международной научно-технической конференции “Китайско-Российское научно-техническое сотрудничество. Наука-образование-инновации”. КНР, Харбин-Санья, 14-23 июня 2008г., с.17.

15. Патент на полезную модель № 75519 МПК Н 02 Р 9/30. Устройство регулирования возбуждения синхронного генератора / Г.Н. Утляков, А.Р. Валеев, В.М. Асадуллин, В.И. Каримов. Оpubл. 10.08.2008. Бюл. № 22.

16. Интеллектуальные системы регулирования параллельной работы синхронных генераторов / Каримов В.И., Валеев А.Р., Асадуллин В.М. // Всероссийская молодежная научная конференция “Мавлютовские чтения”, 28-29 октября 2008 г.: - Уфа, Изд-во УГАТУ, 2008. -Т.2.- С. 16–17.

17. Устройство возбуждения синхронных генераторов / Утляков Г.Н., Валеев А.Р., Асадуллин В.М. Каримов В.И. // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: межвуз. науч. сб. Уфа: УГАТУ, 2008. С. 31–34.

18. Интеллектуальные системы регулирования напряжения параллельно работающих генераторов / Утляков Г.Н., Валеев А.Р., Асадуллин В.М., Каримов В.И. // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий: сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции: в 2-х томах. Т.1/-Уфа: Изд-во УГНТУ, 2009.-С.140-144.

19. Патент на полезную модель № 81398 МПК Н 02 Р 6/00. Устройство регулирования, защиты и управления синхронного генератора / Г.Н. Утляков, А.Р. Валеев, В.М. Асадуллин, В.И. Каримов. Оpubл. 10.03.2009. Бюл. № 7.

АСАДУЛЛИН Виталий Маратович

КОМБИНИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ
С ЭЛЕМЕНТАМИ ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ БЕСКОНТАКТНЫХ
СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Специальность:

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано к печати 20.04.09. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 1,0. Усл. кр.-отт. 1,0. Уч.-изд. л. 0,8.
Тираж 100 экз. Заказ № 153.

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный
технический университет
Редакционно-издательский комплекс УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К.Маркса, 12