



УДК 621.313.3

Хватов О.С., д.т.н., проф., ВГУВТ
Бурда Е.М., к.т.н., доц., ВГУВТ
Тарпанов И.А., к.т.н., ст. пр., ВГУВТ
г. Н. Новгород, ул. Нестерова, д. 5.

ГЕНЕРАТОРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ.

Ключевые слова: дизель-генератор, машина двойного питания, FUZZY-логика.

Аннотация: В данной статье рассматриваются варианты электрогенераторов в составе различных типов электротехнических комплексов переменной частоты вращения на базе современных интеллектуальных средств управления.

В настоящее время практически все дизель-генераторы (их количество сегодня для электроснабжения регионов России, не присоединенных к централизованному электроснабжению, составляет 50 тыс. штук суммарной мощностью 17 млн кВт с выработкой электроэнергии около 50 млрд кВт·ч в год и потребным объемом топлива 6 млн т) работают с постоянной (номинальной) скоростью вращения вала во всем диапазоне изменения нагрузки. Однако работа двигателя внутреннего сгорания при постоянной скорости, но при переменной нагрузке характеризуется неоптимальным расходом топлива. Следовательно, разработка и создание дизель-генераторных электростанций, работающих при переменной, в зависимости от нагрузки генератора, скорости приводного двигателя (ДГПЧВ) и обеспечивающих существенную экономию топлива (до 20%), является актуальной народнохозяйственной задачей и относительно новым техническим направлением в малой энергетике [1].

Вышеуказанные объекты электроэнергетики объединяет общая проблема, которая заключается в создании высокоэкономичных электротехнических комплексов генерирования электроэнергии (ЭК), преобразующих энергию приводного движителя (турбины МГЭС, ветроколеса ВЭУ, главного валопровода ВГУ, испытуемого ДВС в НУ) в электроэнергию требуемого качества. Это связано с решением технической задачи обеспечения постоянных значений амплитуды и частоты генерируемого напряжения ЭК при переменных, в общем случае, скорости вращения вала движителя, а также величине и характере нагрузки.

Требования стабилизации параметров вырабатываемой электроэнергии при переменной скорости вала движителя приводят к двум вариантам построения ЭК: с механическими (дифференциальные редукторы, гидромеханические и пневмомеханические устройства) и электрическими (статические преобразователи частоты (ПЧ)) регуляторами. Оба варианта обеспечивают требуемую стабилизацию параметров вырабатываемой электроэнергии, однако второй, отличающийся простотой механической части ЭК, наиболее приемлем для малой и средней мощности (до 1000 кВт). Электротехнический комплекс в этом случае может быть выполнен на основе синхронного генератора (СГ) или асинхронного (АГ) с короткозамкнутым ротором и ПЧ в статорных цепях. В обоих случаях вся активная мощность от движителя в нагрузку

поступает через статор СГ или АГ и ПЧ. Следовательно, они должны выбираться на полную мощность нагрузки.

Новый этап в разработке ЭК связан с использованием машины двойного питания (МДП). Благодаря хорошим регулировочным возможностям МДП-генератор занимает равноправное место в ряду альтернативных ЭК, а по некоторым показателям имеет существенные преимущества [1]. Вариант ЭК на основе МДП особенно перспективен при широком диапазоне изменения скорости вращения вала двигателя (2:1 и более), когда к мощности, генерируемой через статор, добавляется значительная составляющая мощности скольжения, генерируемая ПЧ.

Новые возможности по использованию машин двойного питания появились благодаря последним достижениям в области силовой электроники, созданию современных ПЧ, которые обеспечивают практически синусоидальное питание цепей АГ.

Работы по исследованию и внедрению МДП-генератора в малую гидро- и ветроэнергетику, судовые валогенераторные установки активно ведутся и за рубежом. Например, в Японии фирмой Hitachi, в Германии – AKW, Siemens, AEG, в Норвегии – ABB KraftAs и ABB Corporate Research, в Австралии – Rainbow Power Company. Накопленный мировой и отечественный опыт в исследовании и разработке МДП-генераторов, в частности для целей малой энергетики, позволяет сделать вывод о несомненной актуальности подобных исследований.

Как правило, данные исследования содержат решение отдельных частных вопросов, выполнены на различной методологической основе, не имеют системного характера и не доведены до инженерных расчетов. Особенно это относится к автономным МДП-генераторам, работающим при широком диапазоне изменения скорости вращения вала двигателя. Необходимо развитие этих исследований в направлениях, связанных с учетом влияния разветвленности электромеханической системы и степени автономности работы ЭК на электромагнитные и электромеханические процессы; с оценкой влияния на характеристики генератора типа преобразователя частоты, исполнения источника реактивной мощности; диапазона рабочих частот вращения; с анализом динамических режимов работы, синтезом систем автоматического регулирования параметров генерируемой электроэнергии и др.

Вышеуказанные обстоятельства затрудняют разработку как силовой структуры, так и САР генераторного комплекса, что является сдерживающим фактором их внедрения в эксплуатацию.

В данной статье авторы предлагают варианты МДП-генераторов в составе различных типов электротехнических комплексов переменной частоты вращения на базе современных интеллектуальных средств управления.

Большинство алгоритмов управления МДП-генератора представляет собой развитие и совершенствование классического алгоритма и реализуются на основе общей теории автоматического управления. Однако поставленная задача может быть решена и нетрадиционными способами. Одним из них является управление МДП-генератором с помощью методов нечеткой логики (FUZZY-логика). Известно, что системы с данным принципом управления рекомендуется использовать для [2]:

- управления сложными объектами, когда не существует их строгого математического описания (математической модели);
- нелинейных систем высокого порядка;
- обработки лингвистически сформулированных экспертных знаний.

Применение нечеткого управления не является обоснованным, если:

- приемлемый результат управления объектом может быть получен с использованием классической теории автоматического управления;
- существует формализованная и адекватная математическая модель рассматриваемой системы.

МДП-генератор не полностью отвечает перечисленным рекомендациям по применению нечеткого управления, т.к., во-первых, существует его адекватная

математическая модель и, во-вторых, применение методов классической теории автоматического управления позволяет получить вполне приемлемый алгоритм управления им как объектом.

Несмотря на вышесказанное, для получения стабильных показателей качества регулирования как в статических, так и динамических режимах работы автономного МДП-генератора, с учетом переменного характера электрической нагрузки и частоты вращения вала ЭК, рассмотрим возможность использования для его управления аппарата FUZZY-логики.

В общем случае вывод решения нечеткого (FUZZY) регулятора происходит в четыре этапа [4]:

1. С помощью функций принадлежности, определенных на входных переменных, вычисляются их фактические значения, и определяется степень значимости для каждой предпосылки правила.

2. Используя процедуру нечеткого вывода, вычисляется значение истинности для предпосылки каждого правила. В результате этого каждой переменной вывода для каждого правила назначается одно значения из нечеткого подмножества значений.

3. Все нечеткие подмножества, назначенные для каждой выходной переменной, объединяются вместе, и формируется единственное нечеткое подмножество значений для каждой выводимой переменной. Объединенное выходное нечеткое подмножество значений создается путем нахождения максимума из всех нечетких подмножеств.

4. Реализуется процесс точной интерпретации, который используется для преобразования нечеткого набора значений выводимых переменных к точным значениям.

Система нечеткого вывода должна содержать базу правил нечетких продукций, которая представляет собой конечное множество нечетких правил, согласованных относительно используемых в них лингвистических переменных. Базу правил нечетких продукций можно получить несколькими методами:

а) эмпирически, т.е. примерной установкой границ значений входных и выходных сигналов, установкой произвольного количества терм, настройкой регулятора методом проб и ошибок;

б) на основе параметров расчетного ПИ-регулятора и дальнейшей подстройкой FUZZY-регулятора;

в) на основе существующего регулятора путем обучения FUZZY-регулятора.

Остановимся подробнее на третьем методе, который предпо-лагает использовании нейро-нечеткой сети для синтеза FUZZY-регулятора.

Для разработки Fuzzy-регулятора использован пакет программ MATLAB, включающий в себя визуальную среду моделирования Simulink и программу ANFIS, которая производит обучение FUZZY-регулятора на основе статистических данных. На рис. 6.8. представлена функциональная схема МДП-генератора с FUZZY-ре-гулятором.

Входными переменными FUZZY-регулятора (рис.1.) являются:

- амплитуда и частота генерируемого напряжения;
- параметры нагрузки;
- скольжение.

Выход у регулятора один. В системе регулирования используется два регулятора: первый – в канале стабилизации амплитуды напряжения, второй – в канале стабилизации частоты напряжения.

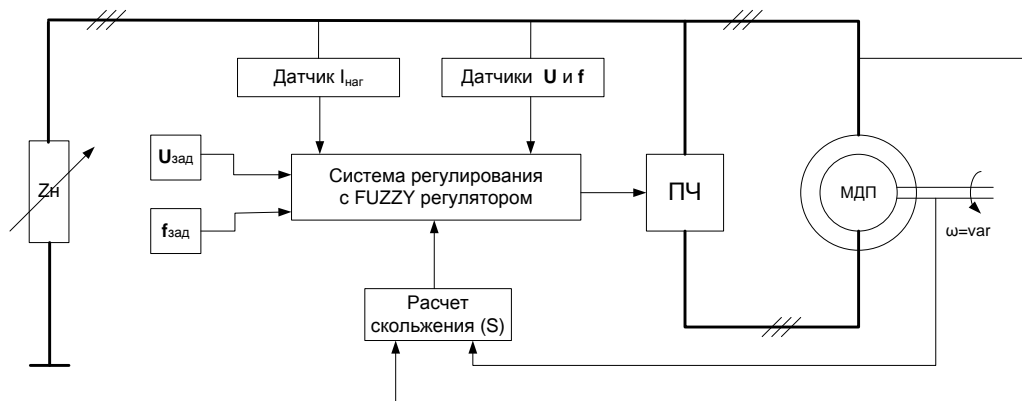


Рис. 1. Функциональная схема автономного генераторного комплекса на основе МДП-генератора с FUZZY-регулятором

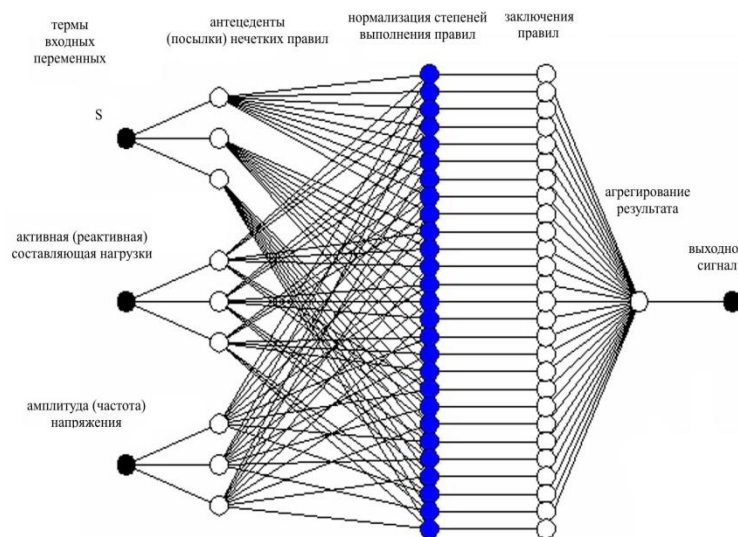


Рис. 2. Структура FUZZY-регулятора в виде нейронечеткой сети ANFIS

Использование FUZZY-регулятора позволяет системе управления эффективно работать при любом скольжении, в то время как неадаптивный регулятор обеспечивает требуемые показатели качества регулирования только при частоте вращения, соответствующей настроенному скольжению.

Обучение FUZZY-регулятора производится на основе статистических данных, полученных с помощью модели с неадаптивным регулятором. Процесс обучения можно разделить на четыре стадии:

1. Сбор статистических данных и подготовка их для использования программой ANFIS.
2. Начальное формирование структуры FUZZY- регулятора на основе данных: выбор формы и количества терм, количества правил, выбор метода обучения, указание максимально допустимой ошибки.
3. Процесс обучения.
4. Тестирование обученного FUZZY-регулятора.

Для сбора необходимых данных использовалась модель МДП-генератора с тремя неадаптивными регуляторами, каждый из которых настроен на определенное скольжение для заданного скоростного диапазона ($|s|_{настр} = 1$, $|s|_{настр} = 0.5$, $|s|_{настр} = 0$).

При моделировании, в зависимости от рабочего скольжения s , выбирается регулятор с соответствующей настройкой. Моделирование проводится в несколько этапов (изменяется скольжение, мощность нагрузки). Полученные данные накапливаются и

сохраняются. На следующем этапе из полученных данных формируется таблица, которая содержит накопленную информацию о соответствии мощности нагрузки, рабочего скольжения генератора, величинах амплитуды и частоты выходного напряжения, а также сигнала на выходе неадаптивного регулятора [3].

Далее начинается процесс обучения. Длительность и конечная ошибка обучения зависят от количества выбранных эпох обучения, количества правил, формы терм. Оптимальное соотношение точности и скорости обучения определяется эмпирическим путем. Зависимость величины выходной переменной Y обученного FUZZY-регулятора от U_1 и s можно представить в виде трехмерного графика (рис. 3.).

Структурная схема МДП-генератора [5] с FUZZY-регуляторами представлена на рис. 6.11.

Анализ показал, что при использовании FUZZY-регуляторов перерегулирование в контурах амплитуды и частоты напряжения меньше в 1.5–2 и 3–4 раза соответственно, чем при использовании неадаптивных регуляторов (рис. 4.,5).

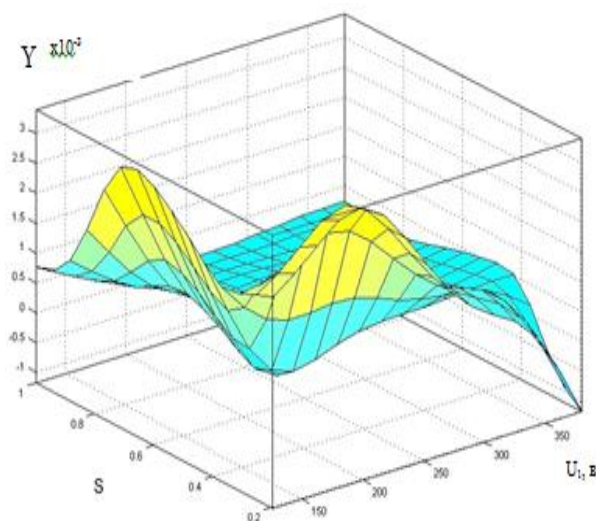


Рис. 3. Зависимость величины выходной переменной Y обученного FUZZY-регулятора от U_1 и s

При увеличении $\cos \varphi_{\text{наг}}$ в системе с FUZZY-регуляторами перерегулирование в контуре амплитуды напряжения уменьшается, а в контуре частоты напряжения увеличивается. Например, при увеличении $\cos \varphi_{\text{наг}}$ от 0,7 до 0,9 перерегулирование в контуре амплитуды напряжения уменьшается на 1,5–2,0%, а в контуре частоты напряжения увеличивается на 3,5–4,0%.

На время переходного процесса изменение $\cos \varphi_{\text{наг}}$ в системе с FUZZY-регуляторами практического влияния не оказывает.

Увеличение скольжения $|s|$ вызывает уменьшение перерегулирования в обоих контурах регулирования. Время переходного процесса в системе с FUZZY-регуляторами в контурах амплитуды и частоты напряжения равно наименьшему времени переходного процесса системы с неадаптивными регуляторами и практически не зависит от текущего скольжения, т.к. FUZZY-регулятор подстраивается под его значение.

Таким образом, использование нечеткой логики в системе автоматического управления автономного МДП-генератора позволяет улучшить показатели качества переходных процессов.

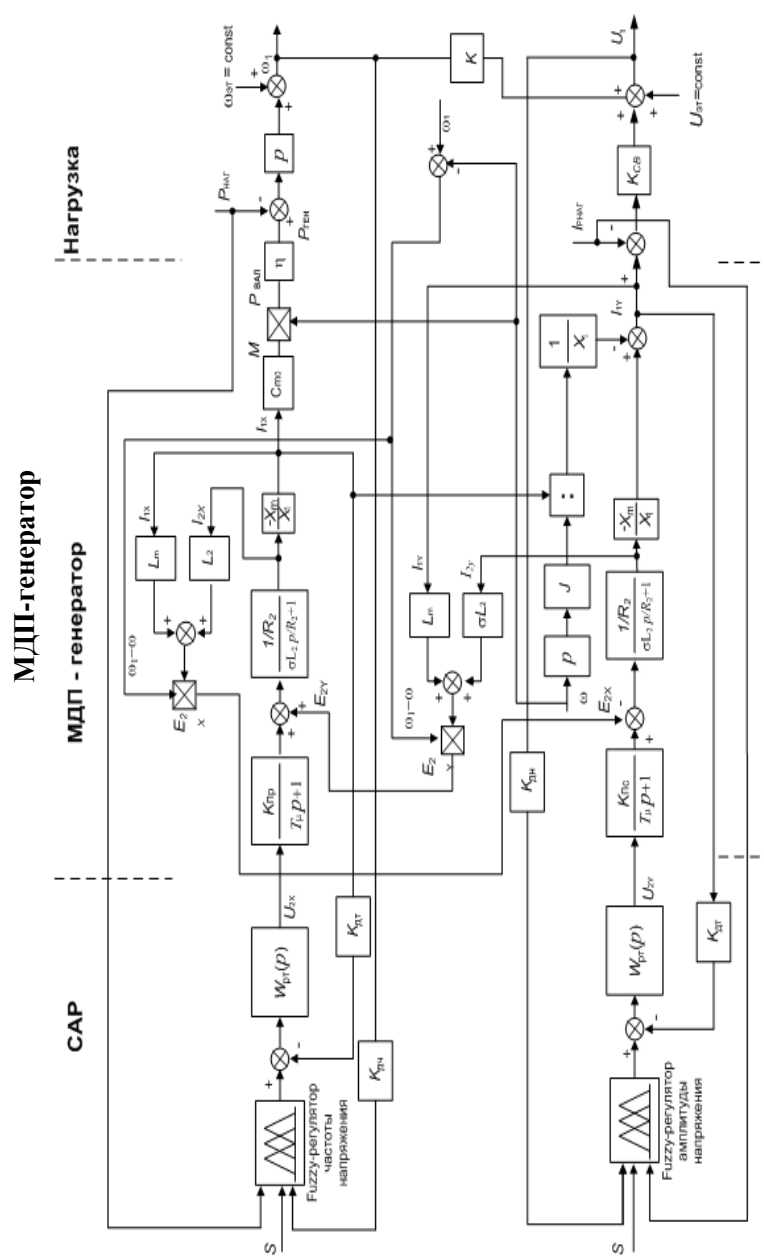


Рис. 4. Структурная схема автономного МДП-генератора с FUZZY -регуляторами

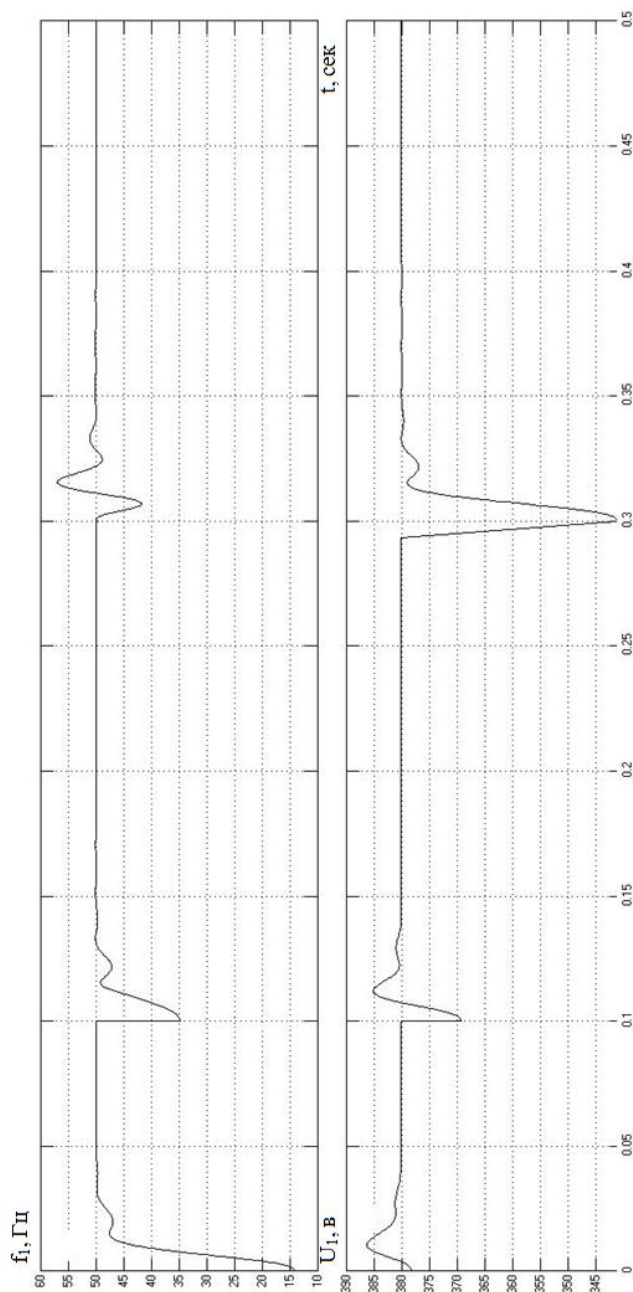


Рис. 5. Зависимости $U_1(t)$ и $f_1(t)$ при подключении нагрузки $S_{\text{ном}} = 0.5P_{\text{ном}}(\cos \varphi_{\text{наг}} = 1)$, $t = 0.1$ с; $S_{\text{ном}} = Q_{\text{ном}}(\cos \varphi_{\text{наг}} = 0)$, $t = 0.3$ с; (МДП-генератор с FUZZY-регуляторами)

Список литературы:

- [1] Электротехнические генераторные комплексы переменной частоты вращения на основе машины двойного питания. ФГБОУ ВО ВГУВТ, 2015.
- [2] Динамические режимы работы автономного генераторного комплекса на основе машины двойного питания. Диссертация. ВГАВТ. 2010.
- [3] Система автоматического управления на базе нечёткой логики автономным генератором по схеме машины двойного питания. Приводная техника. Выпуск №3. 2009.
- [4] Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств.
- [5] Герман-Галкин С. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0. Корона принт. 2001.

VARIABLE SPEED GENERATOR COMPLEXES.

Khvatov O. S., Burda E.M., Tarpanov I.A.

Keywords: diesel generator, machine dual power, FUZZY-logic

Abstract: this article discusses the options for power generators in the various types of electrotechnical complexes with variable speed, based on the modern intelligent management tools.