

Сиразетдинов Данил Игоревич, магистрант, 2 курс, энергетический факультет, кафедра электропривод и автоматизация промышленных установок, Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЕМ АВТОНОМНЫХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ

Аннотация

В современном мире возникает острая необходимость в поиске и внедрении инновационных подходов к управлению, среди которых наиболее перспективными представляются методы интеллектуального контроля, в частности, системы на основе нечеткой логики. Применение нечетких регуляторов позволяет формализовать экспертные знания об управлении объектом и обеспечить высокую устойчивость системы в условиях, когда точное математическое описание процессов электромеханического преобразования энергии затруднено или невозможно из-за высокой размерности и взаимосвязанности переменных.

Annotation

In the modern world, there is an urgent need to search for and implement innovative approaches to management, among which the most promising are methods of intelligent control, in particular, systems based on fuzzy logic. The use of fuzzy controllers allows for the formalization of expert knowledge about object control and ensures high system stability in conditions where an accurate mathematical description of the processes of electromechanical energy conversion is difficult or impossible due to the high dimensionality and interconnectedness of the variables.

Ключевые слова: Нечёткие регуляторы, возбуждение синхронных генераторов, синхронные генераторы, система управления.

Keywords: Fuzzy controllers, excitation of synchronous generators, synchronous generators, and control systems.

Современное состояние автономной энергетики характеризуется неуклонным ростом требований к качеству вырабатываемой электрической энергии, что особенно актуально для систем, использующих в качестве первичного двигателя бензиновые или дизельные установки внутреннего сгорания. Одной из ключевых проблем при эксплуатации таких агрегатов является поддержание стабильного уровня напряжения на зажимах трехфазного синхронного генератора в условиях динамически меняющейся нагрузки и нестабильной частоты вращения вала приводного двигателя. Традиционные методы автоматического регулирования возбуждения, основанные на классических пропорционально-интегрально-дифференцирующих регуляторах, зачастую оказываются недостаточно эффективными вследствие выраженной нелинейности магнитной системы генератора, эффектов насыщения стали и существенного изменения параметров объекта управления в различных режимах работы. В этой связи научный интерес представляет переход к интеллектуальным методам управления, среди которых наиболее перспективным является применение теории нечетких множеств, позволяющей формализовать экспертные знания об управлении сложными техническими объектами без необходимости построения точной математической модели процесса [1-4].

Применение нечетких регуляторов для управления возбуждением синхронных генераторов обусловлено их уникальной способностью обеспечивать высокое качество переходных процессов в широком диапазоне изменения внешних возмущений. В отличие от детерминированных алгоритмов, нечеткая логика оперирует лингвистическими переменными, что позволяет

реализовать адаптивный характер управления, когда коэффициенты усиления фактически изменяются в зависимости от текущего состояния системы. В рассматриваемой схеме с бензиновым двигателем и ШИМ-преобразователем в цепи возбуждения основной задачей нечеткого регулятора становится формирование оптимального коэффициента заполнения импульсов, который определяет среднее значение тока возбуждения. Процесс синтеза такого регулятора начинается с этапа фаззификации, на котором четкие значения входных сигналов, таких как отклонение напряжения от заданного уставки и скорость изменения этого отклонения, преобразуются в степени принадлежности к определенным нечетким терм-множествам (рис. 1.1) [5-8].

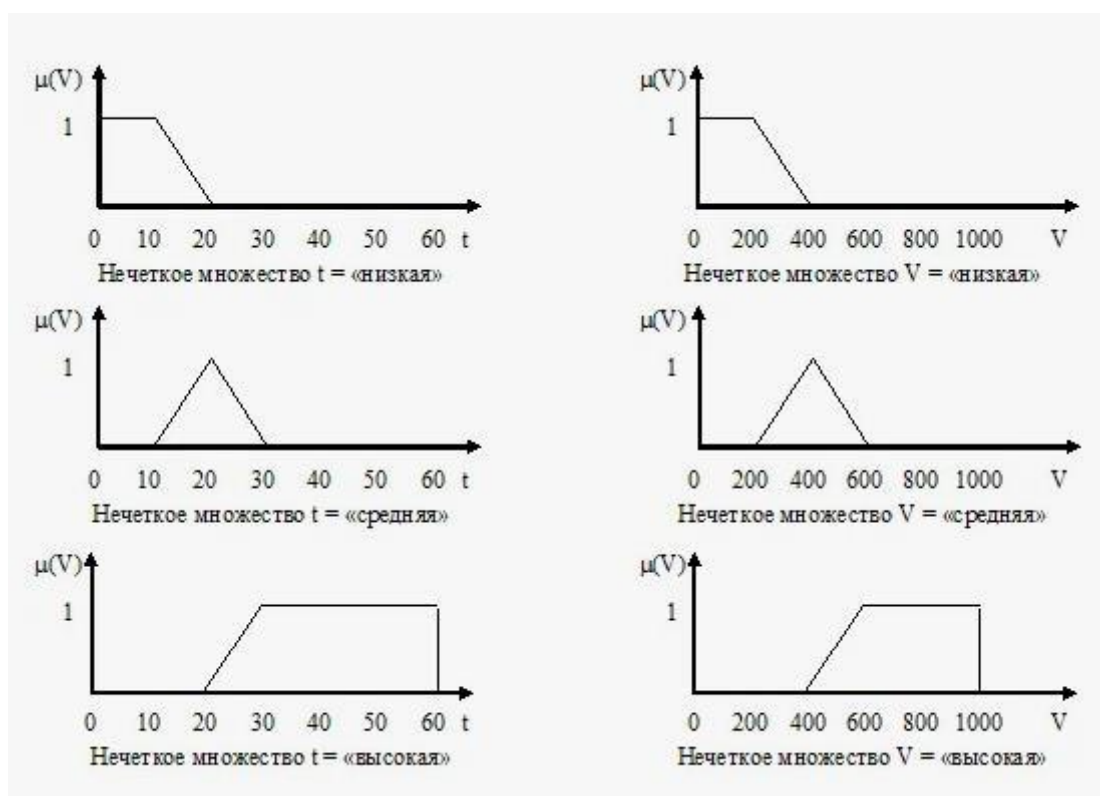


Рисунок 1.1 – Виды нечетких множеств

Фундаментом архитектуры нечеткого контроллера выступает база лингвистических правил — структурированная совокупность логических условий «IF – THEN», определяющая стратегию управления током возбуждения [9].

Логика формирования правил (рис. 1.2) – в случае значительных отклонений напряжения регулятор обеспечивает условия для максимального роста магнитного потока и плавного спада при попадании напряжения в диапазон допустимых значений.

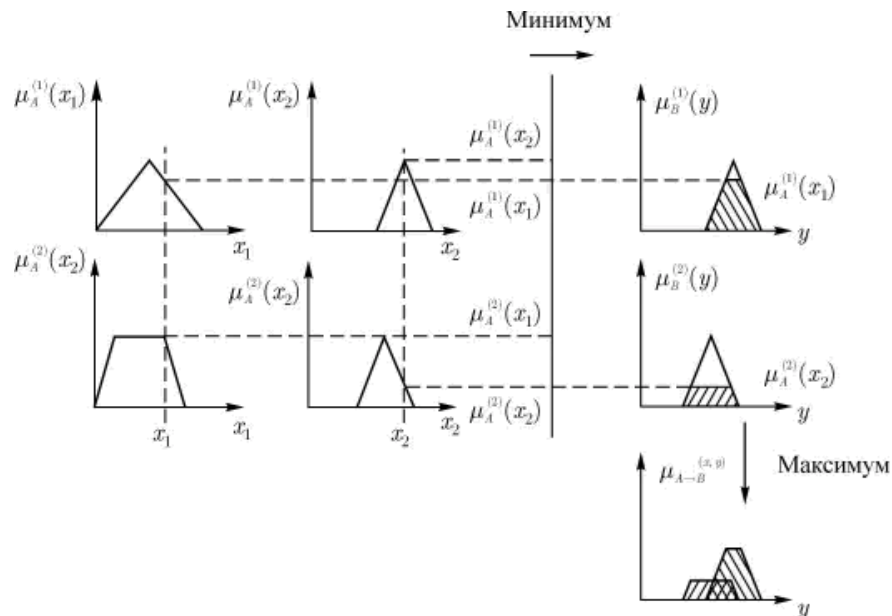


Рисунок 1.2 – Дефаззификация методом Мамдани

Для вычисления на основе правил значения коэффициента заполнения ШИМ-контроллера вычисляется центр тяжести пересечения выбранных нечетких множеств, определяемый по правилу Мамдани (минмаксному методу) [10-13].

При выборе топологии функции принадлежности предпочтение отдается кусочно-линейным функциям, ввиду необходимости дальнейшей реализации на однокристалльной ЭВМ.

В разрабатываемой структурной схеме (рис. 1.3) выходным сигналом является коэффициент заполнения широтно-импульсного преобразователя. Выбор метода дефаззификации по центру тяжести в данном случае является наиболее обоснованным, так как он обеспечивает наилучший баланс между точностью управления и устойчивостью системы к внешним возмущениям. Полученный сигнал управления подается на вход драйвера ШИМ-контроллера,

который формирует последовательность импульсов для силового транзистора в цепи обмотки возбуждения.

Использование ШИМ-преобразователя как исполнительного органа в структуре нечеткого управления позволяет избежать громоздких реостатных схем и существенно снизить тепловые потери в системе возбуждения. Высокая частота модуляции в сочетании с интеллектуальным алгоритмом расчета коэффициента заполнения позволяет минимизировать пульсации магнитного потока, что положительно сказывается на форме выходного напряжения генератора и снижает коэффициент несинусоидальности.

Обоснование выбора треугольных и трапецеидальных функций принадлежности в структуре регулятора также тесно связано с необходимостью обеспечения робастности системы. В условиях автономной работы параметры синхронного генератора, такие как индуктивные сопротивления по продольной и поперечной осям, могут изменяться в зависимости от степени насыщения магнитной цепи. Классические регуляторы с фиксированными параметрами в таких условиях могут терять устойчивость или демонстрировать затяжные переходные процессы. Нечеткий регулятор, благодаря выбранной структуре функций принадлежности с зонами перекрытия, сохраняет работоспособность при значительных вариациях параметров объекта. Это достигается за счет того, что управляющее воздействие формируется не на основе точного аналитического решения, а как результат интерполяции между несколькими лингвистическими стратегиями.

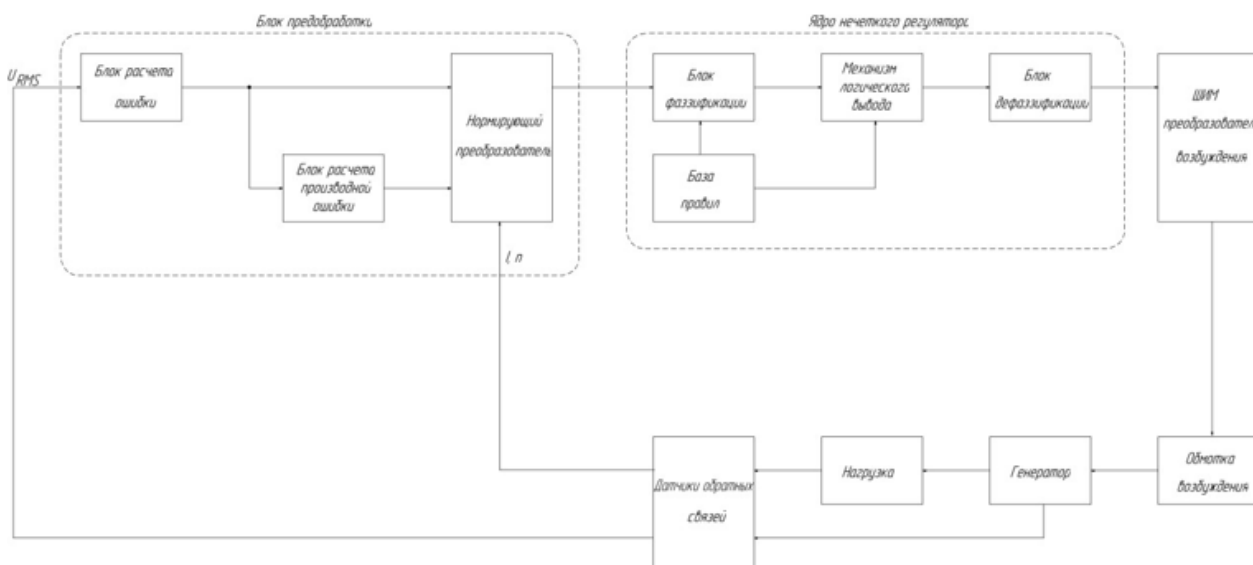


Рисунок 1.3 – Структурная схема нечеткого регулятора возбуждения

Таким образом, структурная схема нечеткого регулятора возбуждения представляет собой гибкую адаптивную систему, в которой входные сигналы обратной связи по напряжению и току преобразуются в высокочастотный ШИМ-сигнал через призму интеллектуальных правил логического вывода, обеспечивая стабильность автономного энергоснабжения в самых сложных эксплуатационных режимах.

Литература

1. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
2. Дьяконов В. П., Круглов В. В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с.
3. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.
4. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 288 с.
5. Bose, B. K. Modern Power Electronics and AC Drives. Prentice Hall, 2011.

6. Passino, K. M., Yurkovich, S. Fuzzy Control. Addison Wesley Longman, 1998.
7. Rashid, M. H. Power Electronics Handbook. Academic Press, 2017.
8. Dorf, R. C., Bishop, R. H. Modern Control Systems. Pearson, 2016.
9. Kazmierkowski, M. P., Krishnan, R., Blaabjerg, F. Control in Power Electronics: Selected Problems. Academic Press, 2002.
10. Yager, R. R., Zadeh, L. A. An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems. Kluwer Academic Publishers, 1992.
11. Driankov, D., Hellendoorn, H., Reinfrank, M. An Introduction to Fuzzy Control. Springer-Verlag, 1993.
12. Pedrycz, W., Gomide, F. Fuzzy Control and Fuzzy Systems. Research Studies Press, 1993.
13. Kruse, R., Gebhardt, J., Klawonn, F. Foundations of Fuzzy Systems. John Wiley & Sons, 1994.

Literature

1. Leonenkov A. V. Fuzzy Modeling in the MATLAB and fuzzyTECH Environment. – SPb.: BHV-Petersburg, 2005. – 736 p.
2. Dyakonov V. P., Kruglov V. V. Mathematical Packages of MATLAB Extension. Special Handbook. – SPb.: Peter, 2001. – 480 p.
3. Pegat A. Fuzzy Modeling and Control / Translated from English. – M.: BINOM. Laboratory of Knowledge, 2013. – 798 p.
4. Chernykh I. V. Modeling of Electrical Devices in MATLAB, SimPowerSystems, and Simulink. – Moscow: DMK Press, 2008. – 288 p.
5. Bose, B. K. Modern Power Electronics and AC Drives. Prentice Hall, 2011.
6. Passino, K. M., Yurkovich, S. Fuzzy Control. Addison Wesley Longman, 1998.

7. Rashid, M. H. Power Electronics Handbook. Academic Press, 2017.
8. Dorf, R. C., Bishop, R. H. Modern Control Systems. Pearson, 2016.
9. Kazmierkowski, M. P., Krishnan, R., Blaabjerg, F. Control in Power Electronics: Selected Problems. Academic Press, 2002.
10. Yager, R. R., Zadeh, L. A. An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems. Kluwer Academic Publishers, 1992.
11. Driankov, D., Hellendoorn, H., Reinfrank, M. An Introduction to Fuzzy Control. Springer-Verlag, 1993.
12. Pedrycz, W., Gomide, F. Fuzzy Control and Fuzzy Systems. Research Studies Press, 1993.
13. Kruse, R., Gebhardt, J., Klawonn, F. Foundations of Fuzzy Systems. John Wiley & Sons, 1994.