

Знайдемо функцію автокореляції для цього ряду (значення зведені до середнього  $m = 0$ ):

$$F(k) = \frac{1}{N-k} \sum_{t=1}^{N-1} X_{k+1} X_t = \frac{1}{N-k} \sum_{t=1}^{N-k} (X_{k+t} S_{k+t}) (X_t + S_t) = \frac{1}{N-k} \sum_{t=1}^{N-1} X_{k+1} X_t + \\ + \frac{1}{N-k} \sum_{t=1}^{N-1} S_{k+1} S_t + \frac{1}{N-k} \sum_{t=1}^{N-1} X_{k+1} S_t + \frac{1}{N-k} \sum_{t=1}^{N-1} S_{k+1} X_t. \quad (7)$$

Очевидно, перший доданок виразу (7) є неперіодичною функцією, що асимптотично прагне до нуля. Оскільки взаємна кореляція між  $N$  і  $S$  відсутня, то третя і четверта складові цього виразу також прагнуть до нуля. Таким чином, найзначніший ненульовий внесок становить другий доданок, що являє собою автокореляцію сигналу  $S$ , тобто функція автокореляції ряду  $X$  залишається періодичною.

### Список літератури

1. Аксенов В. Ю., Сорокин А. А., Дмитриев В. Н. Сенсорные сети для линейно расположенных объектов. *Инновационные технологии и управлении, образовании, промышленности «АСТИНТЕХ-2010»* : материалы Международной научной конференции, 11–14 мая 2010 г. 2010. Т. 1. С. 87–89.

**УДК 681.513.7**

*Терещенко К. В., курсант*

*Научный руководитель: Капустин А. Г., к.т.н., доцент, профессор кафедры  
Белорусская государственная академия авиации,  
г. Минск, Республика Беларусь*

## НЕЧЕТКИЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Системы с использованием нечеткой логики относятся к интеллектуальным системам. Интеллектуальные системы регулирования применяются при управлении сложными объектами с плохо изученной динамикой, к таким объектам относится синхронный генератор.

Условия работы данных объектов и нагрузок недостаточно известны и существенно непостоянны (с дрейфом параметров, характеристик объекта управления и среды эксплуатации). К такой системе регулирования относится *fuzzy logic controller* (нечеткий регулятор). Эффективность нечеткого регулятора обусловлена регулирующим воздействием, которое зависит от получаемых сигналов согласно созданным правилам. Правила создаются на основе лингвистических переменных (термов) и присвоенных весов для предсказывания входных данных, а значит более эффективного регулирования выходного сигнала. Регуляторы на основе интеллектуальной системы

показывают высокую эффективность по быстродействию, робастности и величине перерегулирования.

Для создания правил нечеткой логики управления была определена термами, где  $N$  – отрицательная ошибка,  $P$  – положительная ошибка,  $S/M/B$  – величина ошибки малая, средняя и большая соответственно. Согласно теории вероятностей, в работе рассчитано регулирующее воздействие «и» исходя из отклонения « $e$ » и дискретной скорости его изменения « $\Delta e$ » (табл. 1). Если интервал квантования, сравнительно мал, вычисленное по этой формуле значение корреляционной функции практически равно нулю. Таким образом, плотность распределения термов в клетках таблицы алгоритма функционирования регулятора равна произведению соответствующих плотностей распределения отклонения и скорости изменения отклонения [1, 2].

Таблица 1 – Данные для расчета регулирующего воздействия согласно условной вероятности

$e$	$\Delta e$							$u$
	$NB$	$NM$	$NS$	$Z0$	$PS$	$PM$	$PB$	
$NB$	$NB$	$NB$	$NM$	$NM$	$NS$	$NS$	$Z0$	
$NM$	$NB$	$NM$	$NM$	$NS$	$NS$	$Z0$	$PS$	
$NS$	$NM$	$NM$	$NS$	$NS$	$Z0$	$PS$	$PS$	
$Z0$	$NM$	$NS$	$NS$	$Z0$	$PS$	$PS$	$PM$	
$PS$	$NS$	$NS$	$Z0$	$PS$	$PS$	$PM$	$PM$	
$PM$	$NS$	$Z0$	$PS$	$PS$	$PM$	$PM$	$PB$	
$PB$	$Z0$	$PS$	$PS$	$PM$	$PM$	$PB$	$PB$	

Так как каждому значению базовой переменной « $e$ » и « $\Delta e$ » на входе регулятора может соответствовать несколько соседних термов с различными плотностями вероятностей, то для вычисления плотности распределения регулирующего воздействия приходится использовать формулу полной вероятности [1, 2, 3]. Для создания нечеткого регулятора в *MatLab* выбрана структура типа *Mamdani*, в связи с тем, что выходные функции членства будут нечеткими. После объединения базовых переменных, для каждой выходной переменной существует нечеткое множество, которое нуждается в дефазификации (преобразование нечеткого множества в четкое множество). Согласно таблице 1 создано 49 правил, учитывающих плотность распределения регулирующего воздействия (рис. 1) [4].

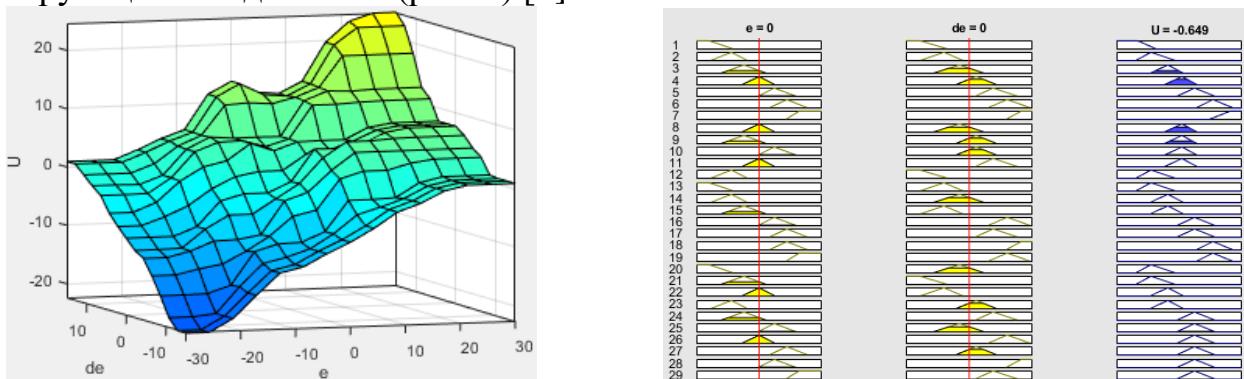


Рисунок 1 – Визуальное отображение правил нечеткого регулятора

Для оценки качества регулирования разработана схема синхронного генератора с регулятором на базе выпрямителя и  $RC$ -цепи (рис. 2) и проведено сравнение с регулятором на базе нечеткой логики. Нечеткий регулятор внедряется в контур по отклонению и стабилизирует напряжение генератора путем изменения тока поля возбуждения.

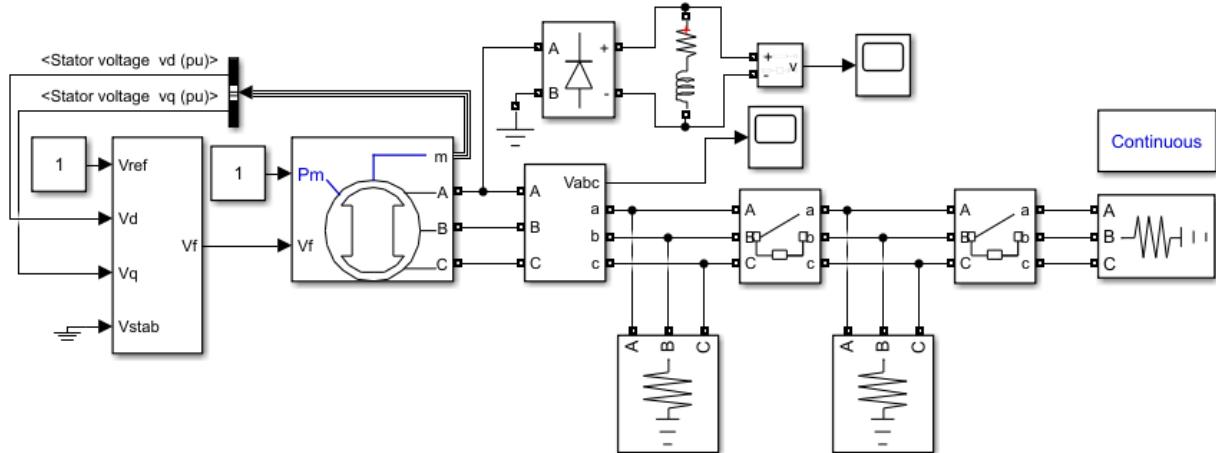


Рисунок 2 – Имитационная схема синхронного генератора с регулятором на базе выпрямителя и  $RC$ -цепи

Проведя моделирование по схеме синхронного генератора, получены графики напряжения для двух систем регулирования (рис. 3, 4).

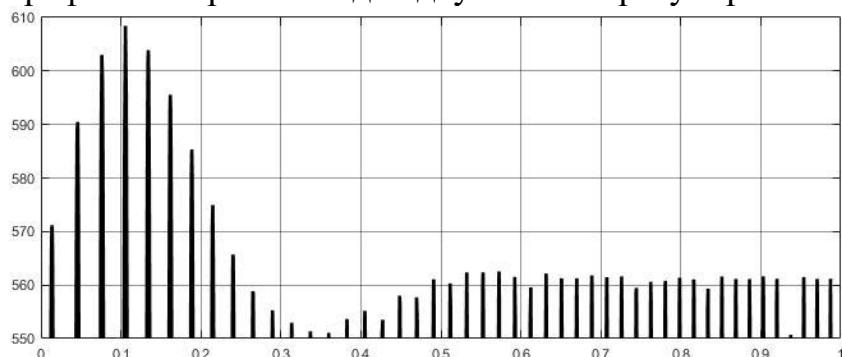


Рисунок 3 – Напряжение синхронного генератора с регулятором на базе выпрямителя и  $RC$ -цепи

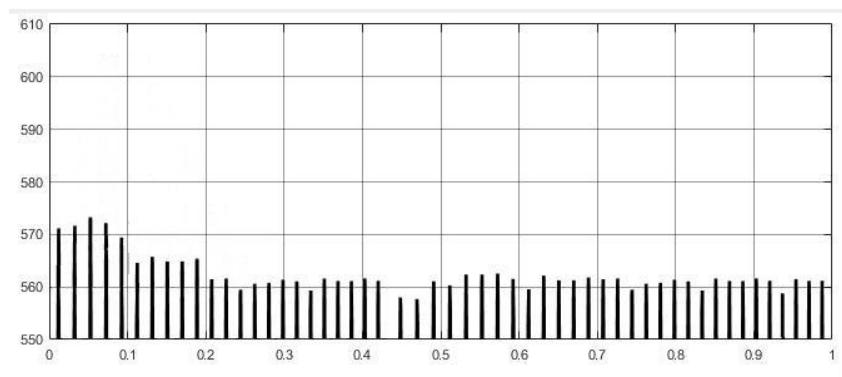


Рисунок 4 – Напряжение синхронного генератора с нечетким регулятором

Анализ графиков работы регуляторов при случайных возмущениях по цепям нагрузки и управления, представленных на рисунках 3-4 показывает: быстродействие сокращается с 0,25с до 0,1с в системе с нечетким регулятором; величина перерегулирования уменьшается в 5 раз; нечеткий регулятор на более чем 60% сокращает разницу амплитудных значений напряжения в сравнении с

регулятором на базе выпрямителя и  $RC$ -цепи, что говорит о высокой робастности нечеткого регулятора; постоянная ошибка регулирования сводится к нулю при использовании нечеткого регулятора.

Таким образом, применение нечеткого регулятора в системах управления синхронными генераторами позволяет повысить качество работы не только генератора, но и всех энергозависимых систем, благодаря повышению устойчивости и сокращению времени переходных процессов.

#### Список литературы

1. Баер П., Новак С., Винклер Р. GotAI.NET. Введение в нечеткую логику и системы нечеткого управления. URL: <http://www.gotai.net/documents/doc-1-fl-001.aspx> (дата обращения 14.04.2020).
2. Tsiareshchanka K. Simulation of the aviation synchronous generator with a fuzzy logic controller in the matlab. *Proceedings of International scientific conference "Universum N VI"*. Morrisville, Lulu Press., 2019. Р. 9–13.
3. Капустин, А. Г. Автоматика и управление : Конспект лекций. Минск: МГВАК, 2012. 112 с.
4. Mamdani, E.H. and S. Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 7, No. 1, pp. 1-13, 1975.

**УДК 004.942**

**Юрко О. О., к.т.н., доцент**

**Ковальова А. О., студент**

**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, Україна**

**Ножнова М. О., викладач**

**Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, м. Кременчук, Україна**

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТРОЮ З КЕРОВАНИМ ДИСКРЕТНИМ КОЕФІЦІЄНТОМ ПІДСИЛЕННЯ

У системах автоматичного керування, автоматики та вимірювальних приладах широко використовуються підсилювачі з регульованим коефіцієнтом підсилення.

Проведемо моделювання пристрою з керованим дискретним коефіцієнтом підсилення. Отримана модель буде використовуватися для синтезу схеми вольтметра з автоматичним перемиканням меж вимірювання. У нашому випадку необхідно забезпечити наступні коефіцієнти підсилення: 1, 10, 100, 1000.

За базову приймемо схему підсилювача на операційному підсилювачі (ОП) з інверсією напруги (рис. 1). Якщо змінювати опір резистора зворотного зв'язку  $R_2$ , можна змінювати коефіцієнт підсилення схеми у широких межах.