

**СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИМ
УСТРОЙСТВОМ НА БАЗЕ РЕГУЛЯТОРА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В СОСТАВЕ
АВТОНОМНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, ЧАСТЬ 2**

Введение. Современные автономные электроэнергетические системы (АЭЭС) представляют собой сложную структуру с постоянным возрастанием сложности оборудования, резкими изменениями в режимах работы, а также постоянным увеличением нелинейных и быстро изменяемых нагрузок [1, 2, 3]. Применение в составе АЭЭС полупроводниковых преобразователей (ПП) приводит к ухудшению качества электроэнергии. В связи с чем, предусматривается использования управляемых фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ). Управление ФКУ осуществляется сложными системами (СУ), что ставит актуальной проблемой повышения эффективности их управления [4, 5].

Для реализации современных поколений СУ основную роль играет решения задач функционирования и синтеза необходимого закона управления при эксплуатации объекта в сложных неопределенных условиях [6]. Одним из эффективных решений является построение СУ на базе ПИД – регулятора с использованием элементов нечеткой логики (НЛ) в качестве дополнительного корректирующего устройства [7]. Поэтому, актуальной задачей является построение математических или имитационных моделей определяющих оптимальный закон управления.

Постановка задач исследования.

Целью работы является, синтез исследуемой СУ эффективного управляемого ФКУ [7], отвечающего требованиям электромагнитной совместимости при изменении режимных параметров ПП на базе ПИД – регулятора и регулятора НЛ.

Материалы исследования.

Предложенная возможность реализации адаптивной СУ на базе ПИД – регулятора с использованием элементов НЛ [7] в отличие от существующих систем [12, 13, 14], обеспечивает расширение частотного диапазона и повышение быстродействия за счет использования ЭВМ [11]. Структурная схема СУ представлена на рис. 1.

В схеме, рис. 1, приняты следующие обозначения: 1 – АЦП; 2 – ЭВМ; 3 – элемент сравнения; 4 – нечеткая память; 5, 6 – нулевое значение лингвистического термина; 7 – среднее значение лингвистического термина; 8 – высокое значение лингвистического термина; 9 – автоматический фазофиксатор; 10 – первый элемент фаззи - логики нижнего значения; 11 – второй элемент фаззи - логики нижнего значения; 12 - элемент фаззи - логики среднего значения; 14 – ЦАП; 15 – блок сдвига фаз; 16 – регулятор НЛ; 17 – элемент фаззи - логики; 18 - элемент фаззи - логики высокого значения; 19 – ПИД - регулятор; 20 – исполнительное устройство, ФКУ.

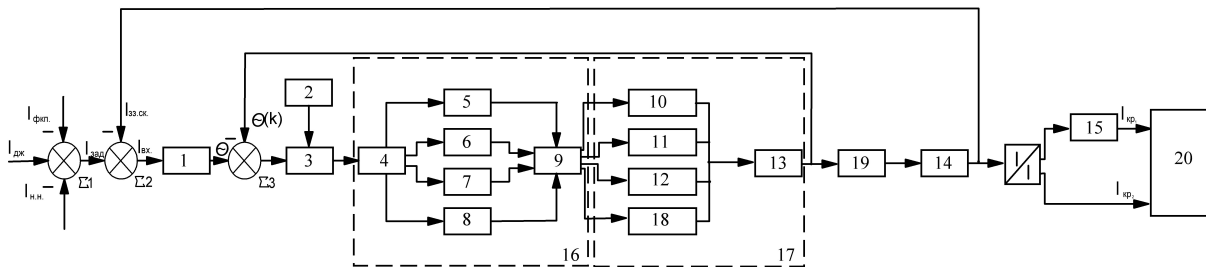


Рис. 1 Структурная схема системы управления ФКУ на базе нечеткой логики в составе АЭЭС

Для проведения синтеза СУ, рис. 1, составим обобщенную структурную схему с учетом передаточных функций, рис. 2, с целью получения результирующей передаточной функции СУ и исполнительного устройства.

Результирующая передаточная функция обобщенной структурной схемы получается на основании правил преобразования структурных звеньев [9] и представлена в виде уравнения 1 [7].

$$W_{ОБЩ}(s) = \frac{(C(s))^2 \cdot D(s)}{1 + k_{ОБЩ} (C(s))^2} \cdot \frac{[k_{ФКУ} \cdot A(s) + B(s)]}{D(s) \cdot [k_{ФКУ} \cdot A(s) + B(s)]}; \quad (1)$$

Введенные коэффициенты определяют передаточные функции блоков СУ.

Где уравнения (2), (3) описывают передаточную функцию ИУ:

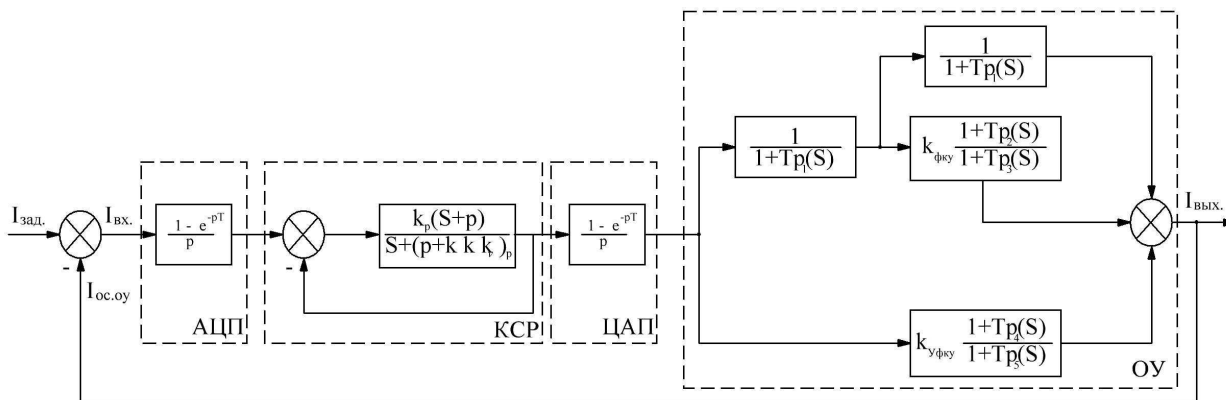


Рис. 2 Обобщенная структурная схема синтеза СУ с учетом ИУ

$$A(s) = \frac{1 + Tp_4(s)}{1 + Tp_5(s)} + \frac{1 + Tp_2(s)}{(1 + Tp_3(s)) \cdot (1 + Tp_1(s))}; \quad (2)$$

$$B(s) = \frac{1}{(1 + Tp_6(s)) \cdot (1 + Tp_1(s))}; \quad (3)$$

уравнение (4) описывает передаточную функцию элементов преобразования сигналов:

$$C(s) = \frac{1 - e^{-pT}}{s}; \quad (4)$$

а, уравнение (5) - передаточные функции регуляторов:

$$D(s) = \frac{k_p 2s}{s + (s + k_v \cdot k_p) + k_{КСР} \cdot k_p 2s}. \quad (5)$$

Конечной целью синтеза СУ является поиск рациональной системы, а также установления оптимальных величин параметров звеньев передаточных функций. Поэтому на дальнейшем этапе выполняется построение логарифмической амплитудно - частотной характеристики (ЛАЧХ). ЛАЧХ дает максимальную наглядность состояния звеньев передаточных функций структурной схемы при описании динамических свойств СУ.

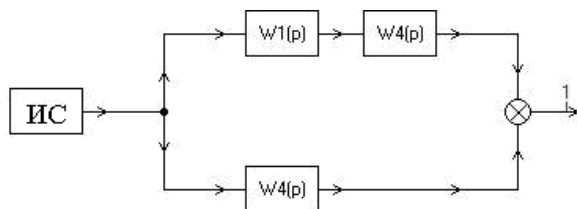
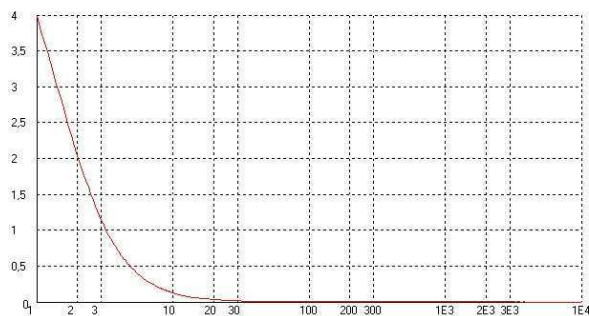
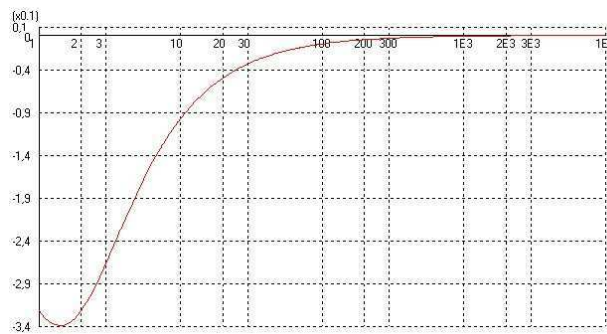


Рис. 3. Схема модельного исследования СУ

звена, полученные в результате преобразования обобщенной структурной схемы рис. 2 [7, 8].



а)



б)

Рис. 4 Результат модельного исследования СУ, ЛАЧХ (а) и ЛФЧХ (б).

Для функционирования модели, рис. 3, были введены настройки предложенной структуры реализации ПИД – регулятора, обеспечивающие устойчивость следящей системы. В модели были заданы коэффициент передачи k_p , постоянную времени интегрирования T_{II} и постоянную времени дифференцирования T_D . При этом, в начальный момент времени $T_D = 0$ [8, 9].

Результатами модельного исследования является получение ЛАЧХ (рис. 4 а) и ЛФЧХ (рис. 4 б).

Полученные результаты моделирования на основании метода ЛАЧХ обосновали необходимость использования в современных поколениях СУ ФКУ, не как было отмечено ранее [12, 13, 14] П – и ПИ – регуляторов, а ПИД – регулятора [7]. Добавление в состав регулятора дифференциальной составляющей в аналитической зависимости между регулятором и исполнительным устройством позволяет устанавливать допустимую колебательность системы, что отражается в характере переходного процесса [6, 7].

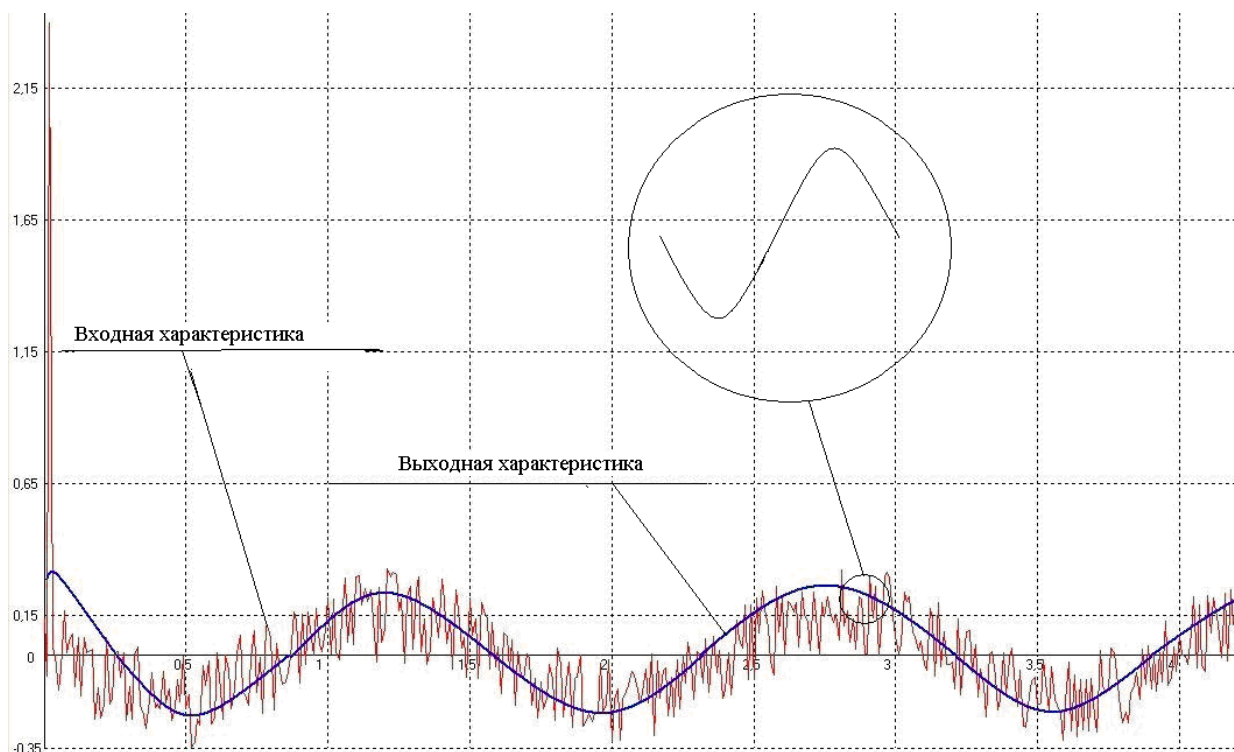


Рис. 5 Результат модельного исследования совместной работы СУ с ФКУ

Вывод.

На основании проведенного исследования предложенной СУ была получена характеристика совместной работы СУ и ФКУ, рис. 5, которая показывает соотношение между задающим входным и выходным значением. При этом наблюдается значительное снижение искажения напряжения.

Выполненное модельное исследование предлагаемого типа ФКУ [10, 11] улучшает форму напряжения сети. Однако в выходной характеристике присутствуют колебания напряжения, рис. 5. Это объясняется тем, что в системе присутствуют обратные связи, а также в процессе моделирования выбранный закон управления привел к недорегулированию коэффициентов регулятора.

Но, тем не менее, рассмотренная в работе адаптивная структура СУ отличается высоким быстродействием. Динамические свойства значительно улучшаются при использовании регулятора на базе НЛ.

Проведенный синтез СУ позволил выполнить идентификацию ключевых параметров, формирование структуры системы и оценку того, насколько выбранная структура отвечает предъявляемым к системе требованиям. В качестве перспективы дальнейшей работы следует прибегнуть к оптимизации параметров и стремлению свести их к минимуму, посредством выбора оптимальных законов управления с сохранением выходных переменных сигналов системы и ошибки, в заданных допустимых пределах.

Литература.

1. Жук А.К. Анализ влияния сетевых фильтров на несинусоидальность напряжения в автономных электроэнергетических системах с тиристорными преобразователями // Техн. электродинамика. Темат.вип. "Силовая электроника та енергоефективність" – 2004. – Ч.2 – С.93-98
2. Жук А.К., Трибулькевич С.Л. Несинусоидальность напряжения в автономных электроэнергетических системах с двенадцатифазными преобразователями и фильтрокомпенсирующими устройствами // Техн. электродинамика. Темат.вип. "Силовая электроника та енергоефективність" – 2005. – Ч.1 – С.99-105.

3. Жук А.К., Запальский В.Н., Трибулькевич С.Л. Несинусоидальность напряжения в ЭЭС морских сооружений с полупроводниковыми преобразователями. // Техн. електродинаміка. Темат.вип. "Силовая електроніка та енергоефективність" – 2006. – Ч.5 – С.49-54
4. Жук А.К., Жук Д.А., Запальский В.Н. Управляемое фильтрокомпенсирующее устройство. Тематичний випуск "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика" науково-технічного журналу "ЕЛЕКТРОІНФОРМ" – Львів: ЕКОінформ, 2009. – 516 с., с. 309 – 312
5. Запальский В.Н., Запальский К.Н. Анализ эффективности системы управления фильтрокомпенсирующего устройства в составе автономной электроэнергетической системы. Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДУ, 2010. – Вип. 4/2010 (63) частина 2. – 186с., стор. 11 – 14.
6. Гостев В.И. Синтез нечетких регуляторов систем автоматического управления.– К.: Радіоаматор, 2003.– 512 с.
7. Жук А.К., Запальский В.Н., Запальский К.Н. Синтез системы управления фильтрокомпенсирующим устройством на базе регулятора нечеткой логики в составе автономной электроэнергетической системы, часть 1. Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика» науково – виробничого журналу – Кременчук: КрНУ, 2012. – Вип. 3/2012 (19). – 660 с. стор. 537 – 540.
8. Шидловский С.В. Автоматическое управление. Перестраиваемые структуры. – Томск: Томский государственный университет, 2006. – 288 с.
9. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. Пер. с англ. Б. И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.: ил.
10. Патент України на корисну модель №57063 «Керований фільтрокомпенсуючий пристрій» Жук О.К., Жук Д.О., Запальський В.М., Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.02.2010 р., Бюл. №3
11. Патент України на корисну модель № 79927 «Система керування фільтрокомпенсуючим пристроєм» Жук О.К., Жук Д.О., Запальський В.М., Запальський К.М., Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 13.05.2013 р.
12. N.Karpagam, D.Devaraj. Fuzzy Logic Control of Static Var Compensator for Power System Damping. World Academy of Science, Engineering and Technology 52 2009, p. 663-669.
13. Karuppanan P and KamalaKanta Mahapatra. PLL with PI, PID and Fuzzy Logic Controllers based Shunt Active Power Line Conditioners. *International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems-Dec 21 o 23, 2010 at IIT-Delhi*, p. 127-132.
14. Somsai K., Srikaew A. and other "Optimal PI – controller design and simulation of SVC", *Proceedings of the 7-th WSEAS International Conference on Power System, Beijing, China, 2007*, p. 30-35.