

УДК: 621.313

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ НА БАЗЕ РЕГУЛЯТОРА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В СОСТАВЕ АВТОНОМНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, ЧАСТЬ 1

А. К. ЖукНациональный университет кораблестроения имени адмирала Макарова
просп. Ленина, 3, г. Николаев, 54000, Украина.**В. Н. Запальский, К. Н. Запальский**Государственное высшее учебное заведение «Николаевская политехника»
ул. Никольская, 11, г. Николаев, 54000, Украина. E-mail: dinoland@mail.ru

Рассмотрена комплексная система регулирования фильтрокомпенсирующим устройством, состоящая из регулятора нечеткой логики и ПИД-регулятора. Результатом проведенного исследования и синтеза системы регулирования является передаточная функция с учетом исполнительного элемента. Полученная упрощенная структурная схема дает возможность для дальнейшего описания математической модели и разработки оптимальных законов управления.

Ключевые слова: регулятор нечеткой логики, фильтрокомпенсирующее устройство, несинусоидальность напряжения.

СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ФІЛЬТРОКОМПЕНСУЮЧИМ ПРИСТРОЄМ НА БАЗІ РЕГУЛЯТОРА НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ У СКЛАДІ АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ, ЧАСТИНА 1

О. К. ЖукНаціональний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
просп. Леніна, 3, м. Миколаїв, 54000, Україна.**В. М. Запальський, К. М. Запальський**Державний вищий навчальний заклад «Миколаївська політехніка»
вул. Нікольська, 11, м. Миколаїв, 54000, Україна. E-mail: dinoland@mail.ru

Розглянуто комплексну систему регулювання фільтрокомпенсуючим пристроєм, що складається з регулятора нечіткої логіки і ПІД-регулятора. Результатом проведеного дослідження та синтезу системи регулювання є передатна функція з урахуванням виконавчого елемента. Отримана спрощена структурна схема дає можливість для подальшого опису математичної моделі та розробки оптимальних законів керування.

Ключові слова: регулятор нечіткої логіки, фільтрокомпенсуючий пристрій, несинусоїдальність напруги.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Повышение автоматизации автономных электроэнергетических систем (АЭЭС), характеризующееся постоянным возрастанием нелинейных и быстро изменяемых нагрузок [1, 2], использованием полупроводниковых преобразователей (ПП), приводит к ухудшению качества электроэнергии, поэтому уже на стадии проектирования необходимо предусматривать в составе АЭЭС фильтрокомпенсирующие устройства (ФКУ). Современное поколение ФКУ предусматривает в своем составе системы управления (СУ). Как было отмечено ранее [2, 3, 10], использование в СУ ФКУ ПИ- или ПИД-регулятора достаточно просто для работы с конкретным объектом. Однако при резких изменениях или переходе на другие режимы работы АЭЭС ухудшается характер переходных процессов системы. В результате возникает необходимость в использовании дополнительных корректирующих устройств регуляторов. В качестве альтернативного решения в составе СУ может использоваться нечеткая логика (НЛ), поэтому актуальной задачей является создание и совершенствование эффективных СУ ФКУ.

Целью работы является получение общей передаточной функции исследуемой системы и синтез СУ эффективного управляемого ФКУ [6], отвечающего требованиям электромагнитной совместимости при изменении режимных параметров ПП [7] на базе регулятора НЛ в составе АЭЭС.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Одним из наиболее распространенных регуляторов,

используемых в составе СУ, является ПИД-регулятор. Однако установлено, что в современных условиях эксплуатации АЭЭС ПИД-регулятор не обеспечивает необходимого уровня качества управления систем автоматического регулирования [3, 8], в результате чего получили распространение адаптивные САР с регулированием коэффициентов ПИД-регулятора на базе использования элементов нечеткой логики [7, 4, 8].

Рассмотрена возможность реализации адаптивной СУ на базе ПИД-регулятора с использованием элементов НЛ. В отличие от существующих систем [11], предлагаемая СУ обеспечит расширение частотного диапазона и повышение быстродействия за счет использования ЭВМ [7]. Структурная схема 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 фазофикатор; 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.

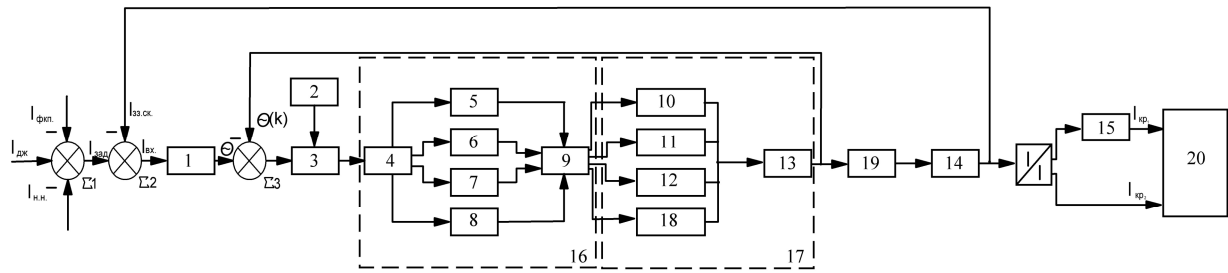


Рисунок 1 – Структурная схема системы управления ФКУ на базе нечеткой логики в составе АЭС

На основании структурной схемы (рис. 1) была составлена упрощенная схема путем обозначения блоков передаточными функциями (рис. 2).

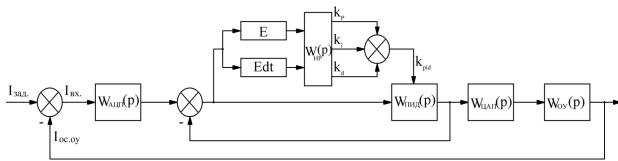


Рисунок 2 – Упрощенная структурная схема исследования

Сигнал ошибки E и его производная dE/dt является входным параметром регулятора НЛ $W_{ФЛЛ}(p)$, а выходными – скорректированные коэффициенты усиления k_p, k_i, k_d в виде суммированного сигнала k_{pid} подаются в ПИД-регулятор ($W_{ПИД}(p)$).

В качестве объекта исполнительного устройства (ИУ) используется управляемое ФКУ [1], представляющее собой диодно-транзисторный модуль с последовательно соединенной индуктивностью, шунтированной таким же модулем. Кроме этого, диодно-транзисторные модули шунтированы колебательным LC-фильтром, настроенным на основную гармонику сети. Структурная схема ИУ приведена на рис. 3.

$$W_1(s) = \frac{1}{1 + T_{p1}(s)}; W_4(s) = \frac{1}{1 + T_{p1}(s)}, \quad (1)$$

где функции $W_1(s), W_4(s)$ – апериодические звенья, описывающие диодно-транзисторные модули и представляющие собой управляемые с помощью транзисторов выпрямители.

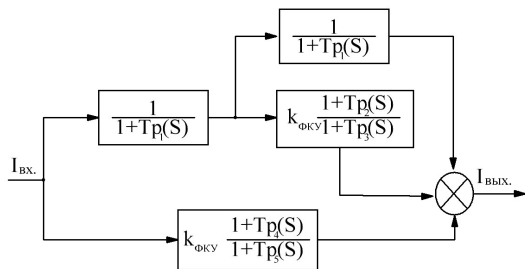


Рисунок 3 – Структурная схема исполнительного устройства

В структурной схеме (рис. 3)

$$W_2(s) = k_{ФКУ} \frac{1 + T_{p2}(s)}{1 + T_{p3}(s)}; \quad (2)$$

$$W_3(s) = k_{УФКУ} \frac{1 + T_4(s)}{1 + T_{p5}(s)},$$

где функции $W_2(s), W_3(s)$ – апериодические звенья, описывающие колебательные контуры ИУ.

Передаточная функция цифрового ПИД-регулятора может быть записана несколькими способом. Это объясняется тем, что интегрирование и дифференцирование при дискретной форме сигнала может быть выполнено различными методами [10]. Реализована передаточная функция регулятора:

$$W_{ПИД}(s) = k + \frac{k_i h_0}{2} \frac{s+1}{s-1} + \frac{k_d}{h_0} \frac{s-1}{s}, \quad (3)$$

где h_0 – шаг дискретизации.

Предложенная передаточная функция цифрового ПИД-регулятора образуется из передаточной функции ПИД-регулятора аналогичного сигнала

$W(s) = k + \frac{k_i}{s} + \frac{k_d}{s}$ путем аппроксимации производной первой разностью и интегрирования по методу трапеции.

Применение в СУ цифрового ПИД-регулятора обеспечивает фильтрацию высокочастотных колебаний системы [9], но при значении входного воздействия $X_{вх}(t) \neq 1$ регулятор не обеспечивает сверхбыструю обработку сигнала управления ИУ, в свою очередь, это может привести к выходу из строя чувствительного электрооборудования.

В связи с этим предлагается образовать комплексную систему регулирования (КСР) (рис. 4), которая состоит из цифрового ПИД-регулятора и регулятора НЛ, воздействующего на ПИД-регулятор своим коэффициентом усиления $k_{УФКУ}, k_{УНЛ}$, – формируется на базе нечетких высказываний и зависит от величины ошибки $E(t)$. Функции зависимости $k_{УНЛ}(E)$ приведены на рис. 5,а, а функции принадлежности лингвистических значений пределов регулятора НЛ – на рис. 5,б.

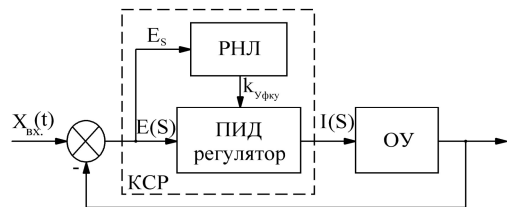


Рисунок 4 – Структурная схема комплексной системы регулирования

Таким образом, передаточная функция регулятора, обеспечивающего необходимый уровень фильтрации высокочастотных колебаний, имеет вид:

$$W_p(s) = \frac{I(s)}{E(s)} = \frac{k_p 2s}{s + (s + k k_v k_p)}, \quad (4)$$

где коэффициент усиления определяется как

$$k_p(s+p)E(s) = (s + (s + kk_v k_p))I_S \quad (5)$$

В пространстве оригиналов уравнению (5) соответствует дифференциальное уравнение

$$k_p \dot{E}'(t) + k_p s E(t) = i'(t) + s + kk_v k_p \quad (6)$$

Для входящих в состав уравнения (6) производных величин выполнена аппроксимация:

$$\dot{E}'(t) \approx \frac{\Delta E}{\tau}; \quad i'(t) \approx \frac{\Delta i}{\tau} \quad (7)$$

где $\Delta E = E(t) - E(t - \tau)$; $\Delta i = i(t) - i(t - \tau)$.

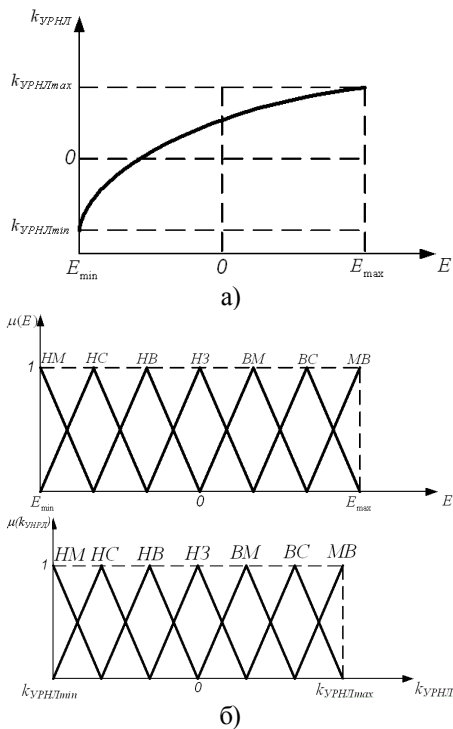


Рисунок 5 – Функциональная зависимость k_{URHL} (E) (а), функции принадлежности лингвистических пределов РНЛ (б)

Из уравнений (5–7) получено уравнение, описывающее цифровой ПИД-регулятор:

$$i(t) = \frac{i(t - \tau) + k_p \Delta E + k_p s \tau E(t)}{1 + (s + kk_v k_p) \tau} \quad (8)$$

Входные и выходные величины в СУ имеют аналоговую форму сигнала. С этой целью во входной цепи управления используется АЦП, а в выходной – ЦАП. Считается [4, 5], что все данные поступают и выводятся из контроллера СУ фиксированным периодом квантования T . В результате передаточная функция цифрового преобразователя при единичном воздействии имеет вид:

$$W_{ЦП}(s) = \frac{1 - e^{-pT}}{s} \quad (9)$$

Для проведения синтеза СУ (рис. 1) составлена обобщенная структурная схема с учетом передаточных функций (рис. 6).

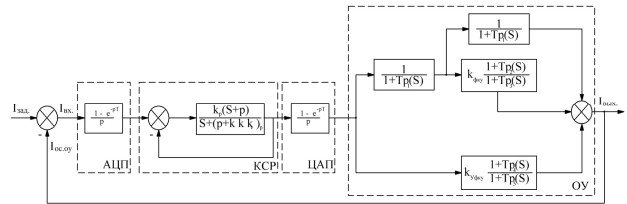


Рисунок 6 – Обобщенная структурная схема синтеза СУ с учетом ИУ

Результирующая передаточная функция обобщенной структурной схемы получается на основании правил преобразования структурных звеньев [4] и представлена в виде уравнения 10.

$$W_{ОБЩ}(s) = \frac{(C(s))^2 D(s)}{1 + k_{ОБЩ} (C(s))^2} \times \frac{[k_{\phi KY} A(s) + B(s)]}{D(s)[k_{\phi KY} A(s) + B(s)]} \quad (10)$$

где введенные коэффициенты определяют передаточные функции блоков СУ:

$$A(s) = \frac{1 + T p_4(s)}{1 + T p_5(s)} + \frac{1 + T p_2(s)}{(1 + T p_3(s))(1 + T p_1(s))} \quad \text{и}$$

$$B(s) = \frac{1}{(1 + T p_6(s))(1 + T p_1(s))} \quad \text{– описывают передаточную функцию ИУ;}$$

$$C(s) = \frac{1 - e^{-pT}}{s} \quad \text{– описывает передаточную функцию элементов преобразования сигналов;}$$

$$D(s) = \frac{k_p 2s}{s + (s + k \cdot k_v \cdot k_p) + k_{KCP} \cdot k_p 2s} \quad \text{– описывает передаточные функции регуляторов.}$$

ВЫВОДЫ. Рассмотренная в работе адаптивная структура СУ отличается высоким быстродействием. Динамические свойства значительно улучшаются при использовании регулятора на базе НЛ, что позволяет настраивать коэффициент усиления k_{URHL} в зависимости от величины ошибки $E(t)$. Кроме этого, при малых изменениях параметров ошибки $E(t)$ коэффициент усиления k_{URHL} принимается в стандартном виде для объекта управления, а при резких изменениях входных параметров или увеличении составляющей ошибки k_{URHL} снижается.

К результатам синтеза первого этапа СУ следует отнести получение общей передаточной функции с учетом исполнительного устройства. Это дает возможность для дальнейшего описания математической модели СУ и разработки оптимальных законов управления с сохранением выходных переменных сигналов системы и ошибки в заданных допустимых пределах.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Жук А.К., Жук Д.А., Запальский В.Н. Управляемое фیلтродкомпенсирующее устройство // Тематичний випуск "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика" науково-технічного журналу "Електроінформ". – Львів: ЕКОінформ, 2009. – С. 309–312.
2. Жук А.К., Запальский В.Н., Трибулькевич С.Л. Несинусоидальность напряжения в ЭЭС морских сооружений с полупроводниковыми преобразователями.

// Техн. електродинаміка. Темат. вип. "Силова електроніка та енергоефективність". – 2006. – Ч. 5. – С. 49–54.

3. Запальський В.Н., Запальський К.Н. Анализ эффективности системы управления фильтрокомпенсирующего устройства в составе автономной электроэнергетической системы. Вісник КДПУ ім. Михайла Остроградського. – Кременчук: КДУ, 2010. – Вип. 4/2010 (63), ч. 2. – С. 11–14.

4. Р. Дорф, Р. Бишоп. Современные системы управления / Пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.

5. Гостев В.И. Синтез нечетких регуляторов систем автоматического управления. – К.: Радиоаматор, 2003. – 512 с.

6. 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.

7. Заявка реєстрації Патенту України на корисну модель «Система керування фільтрокомпенсуючим

пристроєм». Жук О.К., Жук Д.О., Запальський В.М., Запальський К.М. Подано до реєстрації у Державному реєстрі патентів України на корисні моделі від 26.06.2012 р.

8. Skorospeshkin M.V., Skorospeshkin V.N., Avramchuk V.S. Адаптивное нечеткое корректирующее устройство систем автоматического регулирования // Вестник науки Сибири. – 2011. – № 1 (1). – С. 388–392.

9. Karpagam N., Devaraj D. Fuzzy Logic Control of Static Var Compensator for Power System Damping // World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2009. – PP. 663–669.

10. Karuppanan P., Kamala Kanta Mahapatra. PLL with PI, PID and Fuzzy Logic Controllers based Shunt Active Power Line Conditioners // International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems. – 2010. – PP. 127–132.

11. Somsai K., Srikaew A. and oth. Optimal PI-controller design and simulation of SVC // Proceedings of the 7-th WSEAS International Conference on Power System, Beijing, China. – 2007. – PP. 30–35.

SYNTHESIS SYSTEM OF CONTROL POWER FILTER WITH FUZZY-LOGIC REGULATOR IN AUTONOMOUS POWER ELECTROENERGY SYSTEM, PART 1

A. Zhook

National of Shipbuilding University
prosp. Lenina, 3, Nikolaev, 54000, Ukraine.

V. Zapal'skiy, K. Zapal'skiy

State Institution of Higher Education "Nikolaev polytechnic"
ul. Nikol'skay, 11, Nikolaev, 54000, Ukraine. E-mail: dinoland@mail.ru

In the work view complex system regulation power filter, which consist of from the fuzzy - logic regulator and PID - regulator. The result of analyses and synthesis system regulation is transfer function with taking into account the executive element. The resulting simplified block diagram gives an opportunity to further describe the mathematical model and the development optimal algorithm of control.

Key words: non sinusoidal of power, fuzzy-logic regulator, passive power filter, control system

REFERENCES

1. Zhook A.K., Zhook D.K., Zapalskiy V.N. Administered power filter device // *Thematic Issue on "Problems of automated electric. Theory and Practice" scientific and technical journal "Elektroinform"*. – Lviv: EKOinform, 2009. – PP. 309–312. [in Russian]

2. Zhook A.K., Zapalskiy V.N., Trybulkevych S.L. Non sinusoidal voltage in PES marine installations with semiconductor converter // *Engineering electrodynamic. Themat. Issue "Power electronics and energy"*. – 2006. – PP. 49–54. [in Russian]

3. Zapalskiy V.N., Zapalskiy K.N. Analysis of the effectiveness of control system devices in power filter in Autonomous electroenergy power system // *Bulletin of KDPU*. – Kremenichuk: KSU, 2010. – Iss. 4/2010 (63), part 2. – PP. 11–14. [in Russian]

4. Dorf R., Byshop R. *Modern control system* / Tr. from English by B.I. Kopilov. – M.: Laboratory of Bases Knowledge's, 2002. – 832 p. [in Russian]

5. Gostev V.I. *Synthesis fuzzy regulators in automatic control systems*. – K.: Radio, 2003. – 512 p. [in Russian]

6. Patent of Ukraine for useful model № 57063 Adjust power filter device. Zhook A.K., Zhook D.K., Zapalskiy V.N., registered in the State Register of Patents of Ukraine for utility models, the 10.02.2010, Bull. № 3. [in Russian]

7. Application registered patent of Ukraine for utility model "System control device power filter".

Zhook A.K., Zhook D.K., Zapalskiy V.N, Zapalskiy K.N., filed for registration in the State Register of Patents of Ukraine for utility models from 26.06.2012. [in Russian]

8. Skorospeshkyn M.V., Skorospeshkyn V.N., Avramchuk V.S. Adaptive fuzzy logic correction of automatically regulation device systems // *Journal of Science of Siberia*. – 2011. – № 1 (1). – PP. 388–392. [in Russian]

9. Karpagam N., Devaraj D. Fuzzy Logic Control of Static Var Compensator for Power System Damping // *World Academy of Science, Engineering and Technology*. – 2009. – PP. 663–669.

10. Karuppanan P., Kamala Kanta Mahapatra. PLL with PI, PID and Fuzzy Logic Controllers based Shunt Active Power Line Conditioners // *International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems*. – 2010. – PP. 127–132.

11. Somsai K., Srikaew A. and oth. "Optimal PI-controller design and simulation of SVC" // *Proceedings of the 7-th WSEAS International Conference on Power System*. – 2007. – PP. 30–35.

Стаття надійшла 13.07.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Клепиковим В.Б.