

УДК 004.772

<https://doi.org/10.31474/2074-2630-2020-1-62-65>

Е.В. ГАРМАШ (аспірантка), **О.Ю. КОЛЛАРОВ** (к.т.н., доцент)

Державний вищий навчальний заклад

«Донецький національний технічний університет»

Alizabet1593@gmail.com

kollarov@gmail.com

ВИБІР АЛГОРИТМІВ РЕГУЛЯТОРА НЕЧІТКОГО ТИПУ ДЛЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Використання вітроенергетичних енергоресурсів є вітер, що відрізняється зміною параметрів по стохастичному закону і низькою енергетичною щільністю. Перевагами вітроенергетики є незначний негативний вплив роботи вітроенергетичних установок на навколишнє середовище, відсутність масштабних будівництв, зон відчужень і т.д., Слід також врахувати недоліки - високочастотне випромінювання, проблеми забезпечення якості виробленої електроенергії і неможливість постійного вироблення необхідної потужності ВЕУ при зміні параметрів вітру. В області автоматизації технологічних процесів нечіткі логічні регулятори дають можливість реалізовувати системи управління з новими властивостями, які важко досягти при технічному використанні методів класичної теорії автоматичного регулювання.

Ключові слова: Вітрові потоки, нечітка логіка, алгоритм, вітроенергетика, перетворення енергії, вітроенергетична установка, система регулювання.

Після поширення енергетичної кризи в 1970 роках через загрозу нестачі корисних копалин, почався активний розвиток вітроенергетики. Після цього періоду вчені почали вивчати питання перетворення енергії вітру вітроенергетичними установками (ВЕУ). Вітроенергетика є використовуваний енергоресурс - вітер, що відрізняється зміною параметрів по стохастичному закону і низькою енергетичною щільністю.

Перевагами вітроенергетики є незначний негативний вплив роботи вітроенергетичних установок на навколишнє середовище, відсутність масштабних будівництв, зон відчужень і т.д., Слід також врахувати недоліки - високочастотне випромінювання, проблеми забезпечення якості виробленої електроенергії і неможливість постійного вироблення необхідної потужності ВЕУ при зміні параметрів вітру. Слід зазначити, що при швидкості вітру менше номінального значення необхідно виробляти максимально можливу потужність і при швидкості вище - номінальну. Дана обставина є досить важливим аспектом, адже наявний ресурс регулювання часто менше змінної потужності. Це призводить до механічних перенапружень елементів ВЕУ або недовиробітку потужності.

Для написання статті була поставлена мета створення систем регулювання потужності ВЕУ на апараті нечіткої логіки. Для цього потрібно проаналізувати контури регулювання потужності ВЕУ, їх ресурс регулювання, задати алгоритм черговості роботи для запобігання перерегулювання. Також необхідно провести порівняльний аналіз алгоритмів нечіткого висновку Мамдані, Ларсена, Цукамото, Сугено за умовою «плавності-жорсткості» регулювання. Після цього необхідно провести аналіз сумісності контурів регулювання і алгоритмів нечіткого виведення.

В області автоматизації технологічних процесів нечіткі логічні регулятори дають можливість реалізовувати системи управління з новими властивостями, які технічно важко досягти при використанні методів класичної теорії автоматичного регулювання [1]. Алгоритм системи для нечіткого регулювання потужності ВЕУ складається з перетворення змінних нечіткого логічного регулятора (швидкість вітру і кут між становищем гондоли і напрямком вітру) в його вихідні змінні (кут лопаті, довжину лопаті, кут повороту гондоли) за допомогою таких взаємопов'язаних процедур:

- перетворення величин чітких фізичних змінних, одержуваних від вимірювальних датчиків параметрів вітру, в безрозмірні лінгвістичні змінні;
- обробка лінгвістичних змінних згідно з базою правил;
- перетворення вихідних безрозмірних змінних нечіткого регулятора в фізичні дії, що управляють. [2].

На рисунку 1 наведена блок-схема на основі нечіткої логіки системи регулювання потужності ВЕУ. З рисунка слідує, що зміна параметрів кута лопаті, довжини лопаті і повороту гондоли є вихідними

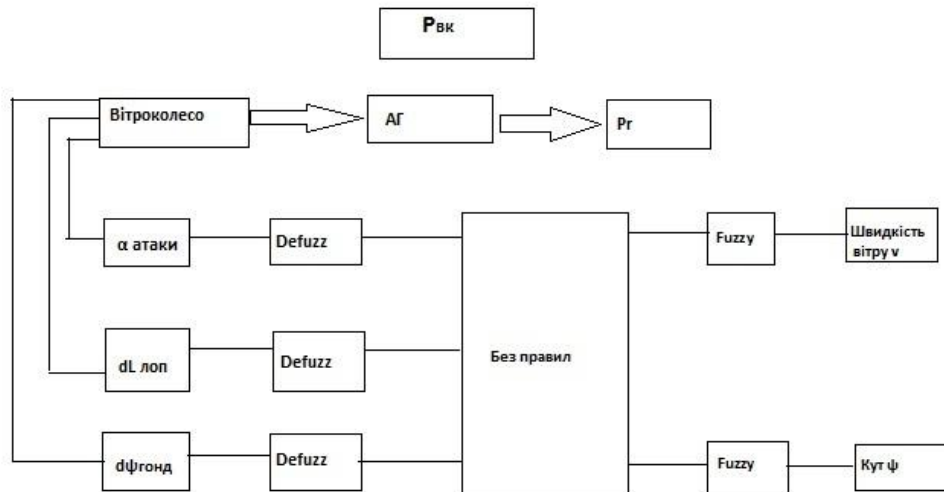


Рисунок 1 – Блок схема системи нечіткого регулювання потужності ВЕУ Fuzzy - фазифікації, defuzz - дефазифікація, ВК – вітроколесо, АГ- асинхронний генератор,

На даний період відомо більше ста різновидів нечітких продукційних моделей на основі різних комбінацій компонентів. Вибір одного обґрунтовується і вибором всіх інших реалізацій. Сукупність окремих реалізацій компонентів моделі визначає алгоритм нечіткого виведення [3]. В даний час найбільшого поширення набули алгоритми: Мамдані, Ларсена, Цукамото, Такагі-Сугено. Дати загальну порівняльну оцінку різних алгоритмів нечіткого виведення не представляється можливим, тому що не існує універсального в усіх відношеннях регулятора. Але для вирішення конкретних завдань управління можна говорити про регулятори, які підходять для цих цілей більше інших. У нашому випадку вибір алгоритмів для нечіткого виведення кожної вихідної змінної обґрунтовується виходячи з декількох умов:

- робастної;
- швидкодія;
- плавність-жорсткість.

1. Алгоритм нечіткого висновку Мамдані

Це база правил при виконанні гіпотези про взаємну незалежності вихідних змінних формується на основі правил з багатьма входними і однією вихідною змінною. У цьому випадку правила мають такий вигляд:

Якщо $x_i \in A_{i1}$ і $x_j \in A_{ij}$ і $x_m \in A_{im}$, то $y \in B_b$, $i=1, \dots, n$;

- Декартовий добуток нечітких множин задано

$$\mu_{A_{i1} \times A_{i2}}(x_1, x_2) = \min\{\mu_{A_{i1}}(x_1), \mu_{A_{i2}}(x_2)\}$$

- Нечітка імплікація - операція $\min$ кон'юнкції;
- Т-норма - $\min$ -кон'юнкції;
- Акумулявання актуалізованих правил для висновків - $\min$ -диз'юнкції;
- Приведення до чіткості - центроїдного методу, метод центру тяжіння [4].

Висновок: алгоритм Мамдані має велику робастність, наочність логічного висновку, але створює нелінійну деформацію функції передумови а-перетином вершини, а операція «центр мас» фактично вживає медіана, що не є метою нечіткої моделі. Застосуємо для плавного регулювання, без різких переходів між значеннями вихідних змінних.

2. Алгоритм нечіткого виведення Ларсена

База правил формується на основі правил з багатьма входними та вихідними змінними. У цьому випадку правила мають вигляд:

Якщо $x_i \in A_{i1}$ і $x_j \in A_{ij}$ і $x_m \in A_{im}$, то $y_1 \in B_b$, $y_k \in B_b$, $i=1, \dots, n$;

- Декартовий добуток, як в алгоритмі Мамдані;
- Нечітка імплікація має нечітке множення виду $\mu_R(x, y) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(y)$;
- Т-норма - $\min$ -кон'юнкція;
- Акумулявання актуалізованих висновків - $\max$ -диз'юнкція.
- Приведення до чіткості - один з методів дефазифікації за вибором [4].

Висновок: функції приладдя висновків стискаються, за рахунок чого має різкий перехід між керуючими сигналами, робастному і адаптивному. Застосуємо для швидкого - «жорсткого» регулювання.

3. Алгоритм нечіткого виведення Цукамото

-База правил складається з продукційних правил, укладення яких є чіткі монотонні (зростаючі або спадаючі) функції. Висновок по кожному правилу формується шляхом зворотного перетворення цих функцій за отриманими значеннями даних правил:

Якщо $x_i \in A_{i1}$ і $x_j \in A_{ij}$ і $x_m \in A_{im}$, то $y = f^{-1}_i(\alpha_i)$, $i=1, \dots, n$;

- Нечітка імплікація-операція min-кон'юнкції;
- Активізація висновків по кожному з правил за формулою $y_i = f^{-1}_i(\alpha_i)$. В результаті знаходяться чіткі значення вихідних змінних в кожному з висновків правил;
- Етап акумулювання актуалізованих висновків правил в цьому алгоритмі відсутня внаслідок чітких значень вихідних змінних;
- В якості методу дефазифікації в алгоритмі Цукамото для одноточкових множин використовується різновид методу центру тяжіння, що дозволяє здійснити приведення до чіткості вихідної змінної без попереднього акумулювання актуалізованих висновків окремих правил [3]:

$$y = \frac{\alpha_1 y_1 + \alpha_k y_k + \alpha_i y_i}{\alpha_1 + \alpha_k + \alpha_i}$$

Висновок: Алгоритм Цукамото доцільно застосовується в системах автоматичного управління, де необхідно забезпечувати робастність при неузгодженості бази правил і немає чітких меж за часом. В даному алгоритмі значення висновків змінюються в залежності від підібраних передумов, тобто необхідно проводити «навчання», отже, більше часу займає висновок вихідної величини; володіє робастністю, а також дає можливість описувати нелінійні системи вищого порядку.

4. Алгоритм нечіткого виведення Такагі-Сугено

База складається з продукційних правил, укладення яких є лінійні функції:

Якщо $x_i \in A_{i1}$ і $x_j \in A_{ij}$ і $x_m \in A_{im}$, то $y = c_{i1}x_1 + c_{ij}x_j + c_{im}x_m + c_{i0}$, $i=1, \dots, n$,

де c_{ij} ($j=1, \dots, m$) - коефіцієнт функційних аргументів; c_{i0} - зміщення;

- Нечітка імплікація - операція min- кон'юнкція;
- Активізація висновків по кожному з правил:

$$y'_1 = c_{11}x'_1 + c_{12}x'_2 + c_{10}$$

$$y'_1 = c_{21}x'_1 + c_{22}x'_2 + c_{20}$$

$$y'_1 = c_{i1}x'_1 + c_{i2}x'_2 + c_{i0}$$

- В результаті кожного висновку правил знаходяться чіткі значення вихідних змінних.
- Внаслідок чітких значень вихідних змінних акумулювання відсутнє;

В якості методу дефазифікації для одноточкових множин використовується різновид методу алгоритмів Такагі-Сугено центру тяжіння, що дозволяє здійснити приведення до чіткості вихідної змінної без попереднього акумулювання актуалізованих висновків окремих правил [3]:

Висновок: алгоритм Такагі-Сугено має більше постійних вихідних величин нульового порядку, ніж при алгоритмі Сугено. Застосування цього алгоритму більше підходить для спрощення контролерів, які використовують диференціальні рівняння вищих порядків.

Для зміни кута лопаті більше підходять алгоритми Ларсена і Цукамото, але останній алгоритм використовує чіткі вихідні величини і вимагає більшого часу. Алгоритм Ларсена володіє достатньою робастністю і швидкодією, тому застосовуємо для зміни кута лопаті, що є первинним регулюванням внаслідок низької швидкості приводних механізмів лопаті. Для зміни довжини лопаті застосовуємо алгоритм Ларсена, що володіє «різкістю», відповідної первинності регулювання даної вихідної величини.

В якості алгоритму для повороту гондоли розглядалися алгоритми Мамдані та Такагі-Сугено: перший має достатню робастність, швидкодію «плавним» повільним регулюванням, що відповідає швидкості приводних механізмів; алгоритм Такагі-Сугено вимагає менше часу, але використовує базу правил, має низьку робастність. З урахуванням всіх властивостей алгоритмів, для повороту гондоли найбільш підходящим є алгоритм Мамдані.

У даній роботі розглянуті 4 варіанти комбінацій алгоритмів нечіткого виведення керуючих значень:

- алгоритм Мамдані для всіх контурів регулювання потужності;
- алгоритм Ларсена для всіх контурів регулювання потужності;
- алгоритм Мамдані для контурів з низьким ресурсом (зміна довжини кута лопаті),
- алгоритм Ларсена для контуру з високим ресурсом (поворот гондоли);
- алгоритм Ларсена для контурів з низьким ресурсом (зміна кута і довжини лопаті),
- алгоритм Мамдані для контуру з високим ресурсом (поворот гондоли).

Таким чином, найефективніший варіант моделі регулятора може бути визначений дослідним шляхом. Згідно з аналізом алгоритмів нечіткого виведення регулювання потужності ВЕУ буде оптимальним при останньому варіанті комбінацій, самим неоптимальним - при третьому варіанті.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Деменков, Н.П. Нечітке управління в технічних системах: Навчальний посібник / Н. П. Деменков. - М. : Изд-во МГТУ ім. Н.е. Баумана, 2005. -200 с, іл.
2. Леоненков, А.В. Нечітке моделювання в середовищі MATLAB і fuzzy TECH / А.В. Леоненков. - СПб. : БХВ - Петербург, 2005.- 736 с, іл.
3. Єгупов, Н.Д. Методи робастного, нейро-нечіткого і адаптивного управління: Підручник /Н.Д. Єгупов, К.А. Пупков, А.І. Гаврилов, В.Ю. Зверєва др.-М. : Изд-во МГТУ ім. Н.е. Баумана, 2002.- 744 с, іл.
4. Борисов, В.В. Нечіткі моделі та мережі / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С.Федулов. - М. : Горяча лінія - Телеком, 2007. - 284 с, іл.

REFERENCES

1. Demenkov, N.P. Fuzzy control in technical systems: Textbook / N.P. Demenkov. - M.: Publishing House of MSTU. N.E. Bauman, 2005. -200 p,
2. Leonenkov, A.V. Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzy TECH / A.V. Leonenkov. - SPb. : BHV - Petersburg, 2005.- 736 p,
3. Egupov, N.D. Methods of robust, neuro-fuzzy and adaptive control: Textbook / N.D. Egupov, K.A. Pupkov, A.I. Gavrilo, V.Yu. Zverev al-M. : Publishing house of MGTU im. N.E. Bauman, 2002. - 744 p.
4. Borisov, V.V. Fuzzy models and networks / V.V. Borisov, V.V. Kruglov, A.S. Fedulov. - M. : Hot line - Telecom, 2007. - 284 p.

Надійшла до редколегії 16.12.2019

Рецензент: д.т.н.Нікіфоров А.П

E. GARMASH, O. KOLLAROV

State Institution of Higher Education «Donetsk National Technical University»

Selection of algorithms of small type regulator for wind power plants. The use of wind energy is a wind, characterized by a change in the parameters of the stochastic law and low energy density. The advantages of wind power are the slight negative impact of the operation of wind power plants on the environment, the absence of large-scale construction, exclusion zones, etc., Consideration should also be given to the disadvantages of high-frequency radiation, problems of ensuring the quality of electricity produced and the inability of constant output. In the field of process automation, fuzzy logic controllers make it possible to implement control systems with new properties that are difficult to achieve when using the methods of classical theory of automatic control.

Takagi-Sugeno algorithm has more constant zero-order initial values than Sugeno-algorithm. The application of this algorithm is more suitable for simplifying controllers that use higher order differential equations.

Larsen and Tsukamoto's algorithms are more suited to changing the blade angle, but the latter algorithm uses clear starting values and requires more time. Larsen's algorithm has sufficient robustness and speed, so it is used to change the blade angle, which is the primary adjustment due to the low speed of the drive mechanisms of the blade. To change the length of the blade, we use the Larsen algorithm, which has a "sharpness" corresponding to the primary control of the given value.

Keywords: *wind flows, fuzzy logic, algorithm, wind power, energy conversion, wind power plant, control system.*