

СИСТЕМА НЕЧІТКОГО ВИВОДУ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ МЕРЕЖІ В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ МАТЛАВ

М.В.Шавранський, Я.Р.Козуч, В.М.Шавранський

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 46067

e-mail: atp@nuing.edu.ua

Разработана система нечеткого вывода регулирования напряжения сети с использованием графической среды системы Matlab. Для решения задачи были использованы средства нечеткой логики и теории нечетких множеств. Построены функции принадлежности входных и выходных переменных. Заданы правила нечеткого вывода, показано просмотр правил после выполнения процедуры нечеткого вывода для конкретных входных переменных. Для общего анализа разработанной модели приведена визуализация соответствующей поверхности нечеткого вывода, которая позволяет установить зависимость значений выходной переменной от значений входных переменных нечеткой модели системы управления напряжением электрической сети. Установление данной зависимости является по сути решением задачи, известной в классической теории управления как задача синтеза управляющих воздействий.

An unclear case frame by the regulator of tension of transformer is examined. Empiric knowledges are represented in the form of heuristic rules which are used for adjusting of tension on the conclusions of power transformer. As an algorithm of unclear conclusion the Mamdani algorithm is used. 15 rules of the productsiy adjusting are made, the graphs of functions of belongings are developed for the therms of output linguistic variables and the concrete example of realization of algorithm is resulted.

Якість електричної енергії залежить від декількох величин [1], однією з основних з яких є відхилення напруги на затискачах приймачів електричної енергії. Це відхилення жорстко регламентується [2]. Тому актуальним є питання регулювання (стабілізація) напруги електричних мереж. Суть задачі полягає в тому, щоб регулювати напругу автоматично, забезпечуючи сталу напругу на затискачах приймачів (в даному випадку на виводах силових трансформаторів) з використанням сучасних програмних продуктів, зокрема середовище Matlab.

На вузлових підстанціях електричної мережі реалізується закон зустрічного регулювання напруги, у відповідності з яким на шинах вузлової підстанції підтримується номінальна напруга $U_{ном}$ при мінімальних навантаженнях, а з ростом навантаження з метою компенсації втрат напруги в елементах мережі цю напругу підвищують до $1,05 U_{ном}$. Для ступінчатого регулювання пристроями РПН (регулювання під навантаженням) такий закон можна записати у вигляді [3]:

$$u(t) = K_1((U(t) - U_y) - K_2(I(t) - I_{min}));$$

$$K_m = \begin{cases} \frac{U_{i+1}}{U_{н.н}}, & \text{якщо } u(t) \leq u_{н.з}; \\ \frac{U_i}{U_{н.н}}, & \text{якщо } u_{н.з} < u(t) < u_{в.з}; \\ \frac{U_{i-1}}{U_{н.н}}, & \text{якщо } u(t) \geq u_{в.з}; \end{cases} \quad (1)$$

де: K_m – коефіцієнт трансформації трансформатора з РПН;

$u(t)$ – приведена напруга на шинах підстанції з урахуванням струмової компенсації;

$u_{н.з}, u_{в.з}$ – уставка регулятора, яка відповідає номінальній напрузі $U_{ном}$ на шинах підстанції;

$U(t)$ – поточне значення цієї напруги;

I_{min} – струм, що знімається з шин підстанції в режимі мінімуму навантаження;

$I(t)$ – поточне значення цього струму;

$U_{н.н}$ – напруга на шинах низької напруги трансформатора при підключенні і-го відгалуження;

U_i – напруга, що індукуються в обмотці високої напруги трансформатора при підключенні і-го відгалуження;

K_1 – коефіцієнт, який характеризує чутливість регулятора;

K_2 – коефіцієнт, який визначає нахил характеристики зустрічного регулювання,

$$K_2 = \frac{0.05U_{ном}}{I_{max} - I_{min}}; \quad (2)$$

I_{max} – струм навантаження в режимі максимуму.

В умовах експлуатації намагаються по можливості зменшити кількість перемикачів відгалужень трансформатора, свідомо ідучи на деяке зниження якості регулювання, але збільшуючи тим самим надійність. З цією метою закон регулювання синтезують нечутливим до коротко-

часних коливань напруги і орієнтують його тільки на відпрацювання відхилень, що досягається введенням у вираз (1) часової затримки τ_3 і логічної умови.

Для того, щоб підвищити стійкість регулювання, в закон (1) ввели додаткову логічну умову, основу на врахуванні знаку похідної огинаючої U_{oz} регульованої напруги $U(t)$. Ця умова дає змогу не проводити перемикання відгалужень трансформатора, якщо регульований параметр знаходиться поза зоною нечутливості регулятора, але під впливом зовнішніх факторів сам прямує до зони. Закон регулювання з врахуванням відповідних умов запишеться так:

$$u(t) = K_1((U(t) - U_y) - K_2(I(t) - I_{min}));$$

$$K_m = \begin{cases} \frac{U_{i+1}}{U_{н.н}}, \text{ якщо } \begin{cases} u(t) \leq u_{н.з} \\ u(t - \tau_3) \leq u_{н.з}; \\ \frac{dU_{oz}}{dt} \leq 0 \end{cases} \\ \frac{U_i}{U_{н.н}}, \text{ якщо } u_{н.з} < u(t) < u_{в.з}; \\ \frac{U_{i-1}}{U_{н.н}}, \text{ якщо } \begin{cases} u(t) \geq u_{в.з} \\ u(t - \tau_3) \geq u_{в.з}; \\ \frac{dU_{oz}}{dt} \geq 0, \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

де: $\frac{dU_{oz}}{dt}$ – похідна огинаючої контрольованої напруги; τ_3 – час затримки сигналу.

Однак вищевказаний закон не передбачає швидкої реакції регулятора на значне відхилення контрольованої напруги, внаслідок чого тривалий час напруга на навантаженні має ненормоване значення через затримку сигналу керування на час τ_3 . В результаті змінюється режим роботи споживачів, що призводить до недовипуску продукції, зниження її якості, а іноді до виробничого браку. Тому закон регулювання (3) доповнюють додатковою умовою (4).

$$U(t) \xrightarrow{t_{рег} \rightarrow min} U_{ном} \pm \Delta U, \quad (4)$$

якщо $\begin{cases} u(t) < u_{н.з1}, \\ u(t) > u_{в.з1}, \end{cases}$

де: $\Delta U = U_{в.з} - U_{ном} = U_{ном} - U_{н.з}$;

$U_{в.з}$, $U_{н.з}$ – напруга електричної мережі, яка відповідає верхній і нижній границям зони нечутливості регулятора, що задається з умов надійності;

$u_{в.з1}$, $u_{н.з1}$ – верхня і нижня границі зони нечутливості, обумовленої якістю регулювання напруги;

$t_{рег}$ – час регулювання, протягом якого значення напруги повертається в зону нечутливості, обумовлену надійністю роботи системи.

Умова (4) дозволяє виконувати перемикання пристрою РПН без часу затримки сигналу τ_3 , коли контрольована напруга має значення, що суттєво відрізняється від $U_{ном}$.

Для розв'язання цієї задачі в [4] було побудовано базу правил відповідної системи нечіткого виводу, яка вміщує 15 правил нечітких продукцій.

Для формування бази правил систем нечіткого виводу було визначено [4] вхідні і вихідні лінгвістичні змінні. Як одну із вхідних лінгвістичних змінних використовуємо напругу на виводах низької напруги (НН) трансформатора: α_1 – «напруга на виводах НН», а як другу вхідну лінгвістичну змінну – α_2 – «швидкість зміни напруги». Як вихідну лінгвістичну змінну використовуємо кут повороту перемикача відгалужень, тобто зміню коефіцієнта трансформації (анцапфи). Для скорочення запису правил використовуємо символічні позначення (таблиця 1).

Таблиця 1 – Загальноприйняті скорочення для значень основних термів лінгвістичних змінних в системах нечіткого виводу

Символічне позначення	Англійська нотація	Україномовна нотація
NB	Negative Big	Негативне велике
NM	Negative Middle	Негативне середнє
NS	Negative Small	Негативне мале
ZN	Zero Negative	Негативне близьке до нуля
Z	Zero	Нуль
ZP	Zero Positive	Позитивне близьке до нуля
PS	Positive Small	Позитивне мале
PM	Positive Middle	Позитивне середнє
PB	Positive Big	Позитивне велике

Як терм – множини першої лінгвістичної змінної будемо використовувати множини $\alpha_1 = \{\text{«дуже низька»}, \text{«низька»}, \text{«в межах норми»}, \text{«висока»}, \text{«дуже висока»}\}$, або в символічному вигляді $\alpha_1 = \{NB, NS, Z, ZP, PB\}$.

Як другу терм-множину другої лінгвістичної змінної будемо використовувати множину $\alpha_2 = \{NS, Z, ZP\}$.

Як терм-множину вихідної лінгвістичної змінної будемо використовувати множини $\alpha_3 = \{\text{«дуже великий кут вліво»}, \text{«великий кут вліво»}, \text{«невеликий кут вліво»}, \text{«нульове поло-»}\}$

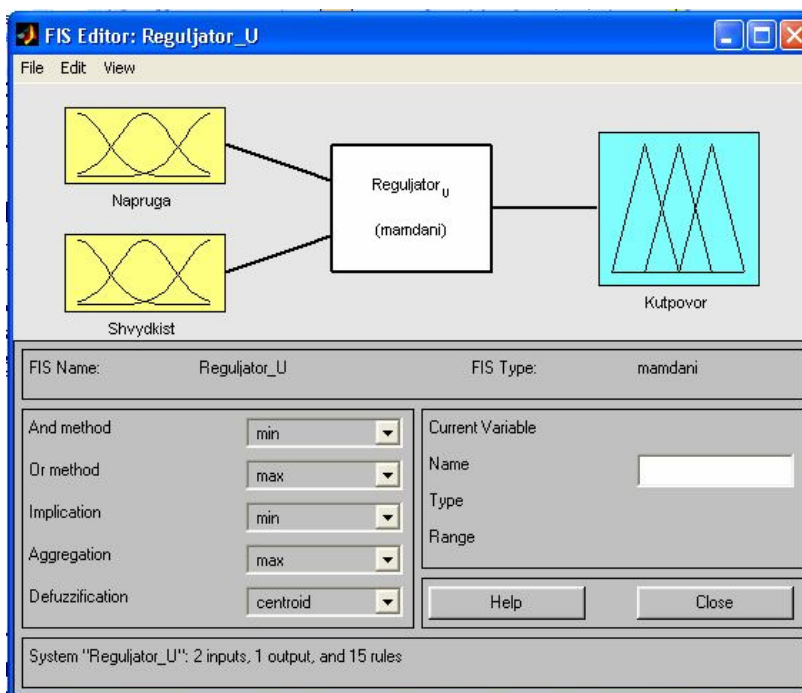


Рисунок 1 – Графічний інтерфейс пелактона FIS після визначення певних вхідних і вихідних змінних розроблюваної системи нечіткого виводу

ження». «невеликий кvt вправо». «великий кvt вправо». «дуже великий кvt вправо»} або в символічному вигляді $\alpha_3 = \{NB, NM, NS, Z, ZP, PM, PV\}$.

В цьому випадку система нечіткого виводу буде вмішувати 15 правил нечітких продукцій такого вигляду:

- ПРАВИЛО 1: Якщо « $\alpha_1 \in PV$ » і « $\alpha_2 \in ZP$ » то « $\alpha_3 \in NB$ »
- ПРАВИЛО 2: Якщо « $\alpha_1 \in PV$ » і « $\alpha_2 \in NS$ » то « $\alpha_3 \in NS$ »
- ПРАВИЛО 3: Якщо « $\alpha_1 \in PV$ » і « $\alpha_2 \in ZP$ » то « $\alpha_3 \in NM$ »
- ПРАВИЛО 4: Якщо « $\alpha_1 \in ZP$ » і « $\alpha_2 \in NS$ » то « $\alpha_3 \in Z$ »
- ПРАВИЛО 5: Якщо « $\alpha_1 \in NB$ » і « $\alpha_2 \in NS$ » то « $\alpha_3 \in PV$ »
- ПРАВИЛО 6: Якщо « $\alpha_1 \in NB$ » і « $\alpha_2 \in ZP$ » то « $\alpha_3 \in ZP$ »
- ПРАВИЛО 7: Якщо « $\alpha_1 \in NS$ » і « $\alpha_2 \in NS$ » то « $\alpha_3 \in PM$ »
- ПРАВИЛО 8: Якщо « $\alpha_1 \in NS$ » і « $\alpha_2 \in ZP$ » то « $\alpha_3 \in Z$ »
- ПРАВИЛО 9: Якщо « $\alpha_1 \in PV$ » і « $\alpha_2 \in Z$ » то « $\alpha_3 \in NM$ »
- ПРАВИЛО 10: Якщо « $\alpha_1 \in ZP$ » і « $\alpha_2 \in Z$ » то « $\alpha_3 \in NS$ »
- ПРАВИЛО 11: Якщо « $\alpha_1 \in NS$ » і « $\alpha_2 \in Z$ » то « $\alpha_3 \in PM$ »
- ПРАВИЛО 12: Якщо « $\alpha_1 \in NS$ » і « $\alpha_2 \in Z$ » то « $\alpha_3 \in ZP$ »
- ПРАВИЛО 13: Якщо « $\alpha_1 \in Z$ » і « $\alpha_2 \in ZP$ » то « $\alpha_3 \in NS$ »
- ПРАВИЛО 14: Якщо « $\alpha_1 \in Z$ » і « $\alpha_2 \in NS$ » то « $\alpha_3 \in ZP$ »

ПРАВИЛО 15: Якщо « $\alpha_1 \in Z$ » і « $\alpha_2 \in Z$ » то « $\alpha_3 \in Z$ »

Розробку нечіткої моделі (назвемо її **Regulator U**) будемо проводити з використанням графічних середовищ системи MATLAB. З цією метою відкривемо редактор FIS і визначимо лві вхільні змінні з іменами «Napruha» (напруга α_1) і «Shvydkist» (швидкість α_2) і одну вихільну змінну з іменем «Kutpovorot» (α_3 кvt повороту). Графічний інтерфейс редактора FIS для цих змінних зображено на рисунку 1.

Оскільки використовуємо систему нечіткого виводу типу Мамдані, залишимо без зміни тип, запропонований системою MATLAB по замовчванню. Немає необхідності змінювати і інші параметри розроблюваної нечіткої моделі, запропонованою системою, такі як логічні операції (**min** – для нечіткого логічного І, **max** – для нечіткого логічного АБО), методи імплікації (**min**), агрегування (**max**) і дефазіфікації (**centroid**).

Задаємо функції належності термів для кожної із змінних системи нечіткого виводу. З цією метою скористаємося редактором функцій належностей системи MATLAB. Для першої вхільної змінної (Napruha) додаємо два додаткових терми до трьох, що задані по замовчванню (рисунку 2).

Числові значення цих параметрів можна задати на мові нечіткого керування FCL (Fuzzy Control Language). Ця мова розроблена для представлення нечітких моделей систем керування, зокрема, моделей так званих програмованих контролерів (Programmable Controllers) або програмованих логічних контролерів (ПЛК). В ланій статті значення параметрів задані у відносних одиницях.

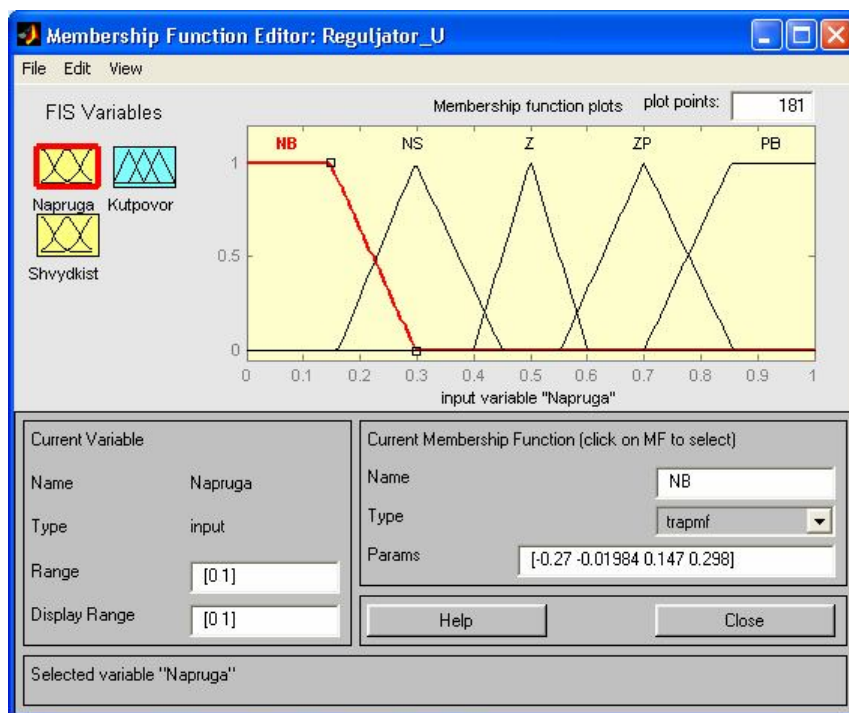


Рисунок 2 – Графічний інтерфейс редактора функцій належності після задання вхідної змінної «Napruha» для системи нечіткого виводу Reguljator U

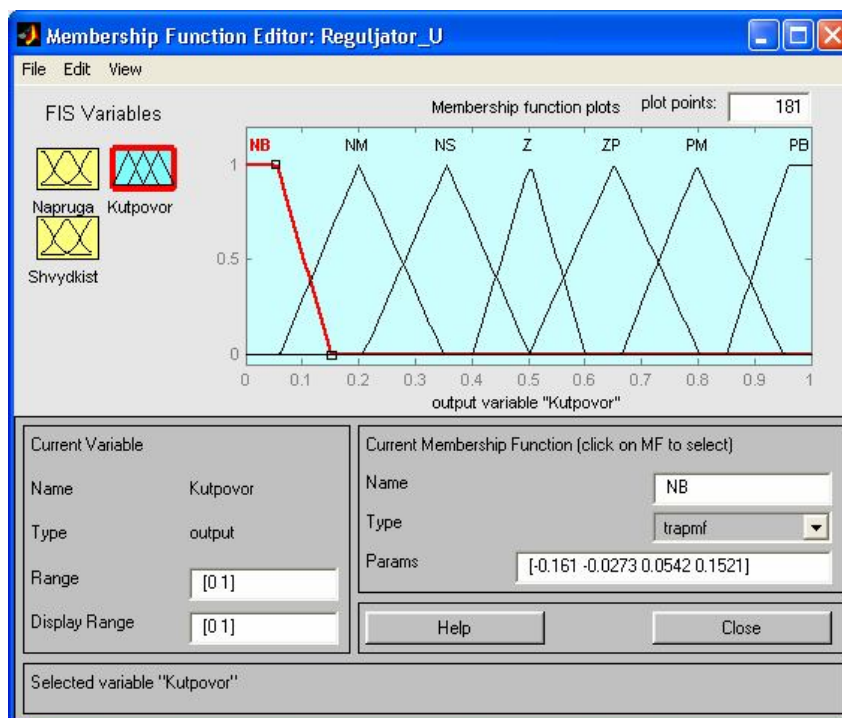


Рисунок 3 – Графічний інтерфейс редактора функцій належності після вихідної змінної «Kutpovorot» для системи нечіткого виводу Reguljator U

Для другої вхідної змінної залишаємо три терми, що задані по замовчванню, і змінюємо тільки тип і параметри функцій належності. Для вихідної змінної необхідно додати чотири терми до трьох заданих за замовчванням, і задати параметри відповідних функцій належності. Числові значення цих параметрів також можна задати на мові FCL. Вигляд графічного інтер-

фейсу редактора функцій належності після задання вихідної змінної зображено на рисунку 3.

Для розробленої системи нечіткого виводу задаємо 15 правил, що наведені вище. Скористаємося редактором правил системи MATLAB. Вигляд графічного інтерфейсу редактора правил після задання всіх 15 правил нечіткого виводу зображено на рисунку 4.

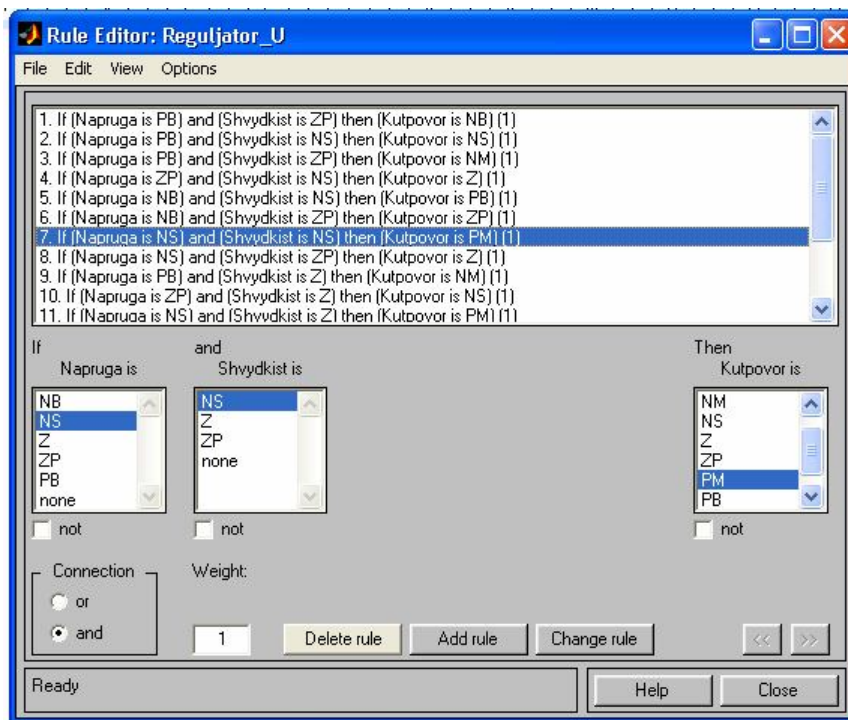


Рисунок 4 – Графічний інтерфейс редактора правил задання бази правил для системи нечіткого виводу Reguljator U

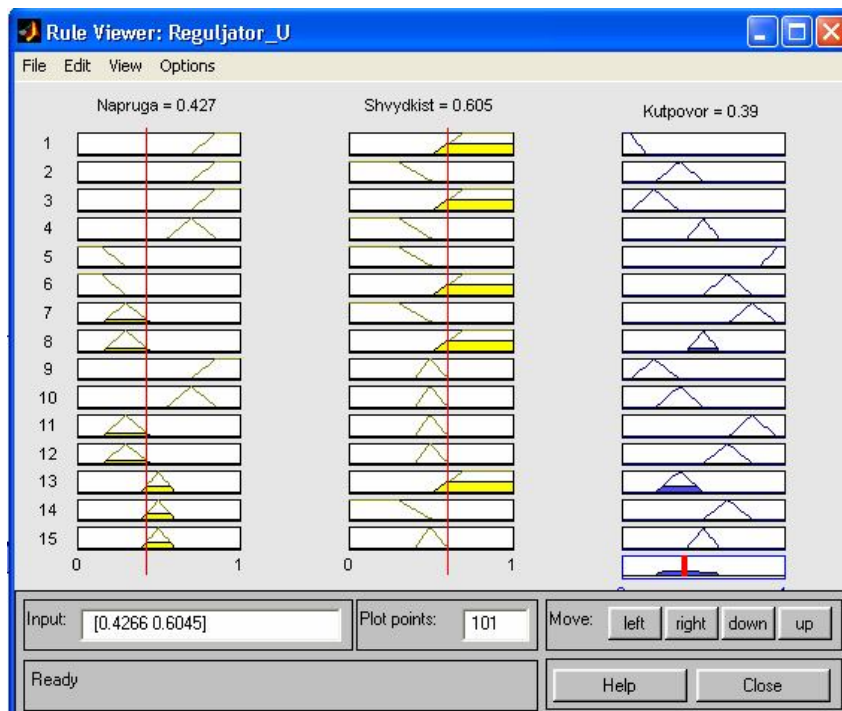


Рисунок 5 – Графічний інтерфейс програми прогляду правил після виконання процедури нечіткого виводу

Тепер можна виконати оцінку побудованої системи нечіткого виводу для задачі автоматичного керування регулятором напруги. З цією метою відкриємо програму перегляду правил системи MATLAB і введемо значення вхідних змінних для окремого випадку, коли напруга на виводах трансформатора 0,427 відносних одиниць (в.о.), а швидкість зміни напруги складає 0,605 в.о. Процедура нечіткого виводу, викона-

на системою MATLAB для розробленої нечіткої моделі видає в результаті значення вихідної змінної «Kutpovorot», рівне 0,39 (рисунок 5).

Порівняння результатів нечіткого виводу для різних значень вхідних змінних, отриманих на основі числових розрахунків і з допомогою розробленої нечіткої моделі MATLAB, свідчить про добру узгодженість моделі і підтверджує її адекватність в рамках моделі, що розглядається.

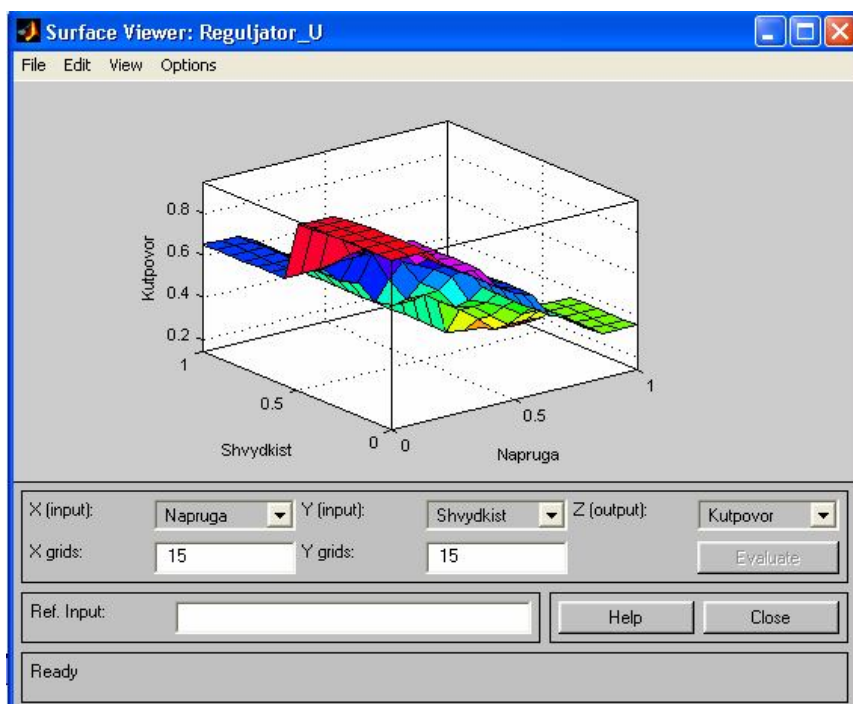


Рисунок 6 – Візуалізація поверхні нечіткого виводу для системи нечіткого виводу Reguljator U

Для загального аналізу розробленої нечіткої моделі може бути корисною візуалізація відповідної поверхні нечіткого виводу (рис. 6).

Висновки

Для розв'язання даної задачі було використано засоби нечіткої логіки і теорії нечітких множин.

Дана поверхня нечіткого виводу дає змогу встановити залежність значень вихідної змінної від значень вхідних змінних нечіткої моделі системи регулятором напруги. Ця залежність може слугувати основою для програмування контролера або апаратної реалізації відповідного нечіткого алгоритму керування у формі таблиці рішень, що має практичне значення. В додаток до цього визначення даної залежності є, по суті, розв'язком задачі, відомої в класичній теорії керування як задача синтезу керуючих збурень.

Література

- 1 Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.
- 2 Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
- 3 Мокин Б.И., Выговский Ю.Ф. Автоматические регуляторы в электрических сетях. – К.: Техніка, 1985. – 104 с.
- 4 Шавранський М.В, Шавранський В.М. Нечітка модель керування регулятором напруги силового трансформатора // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2006. – № 1(13). – С. 83-87.