

Така потужність може призвести до зростання температури компенсатора тиску вводу і може бути зафіксована сучасними засобами тепловізійної техніки.

Можливість виникнення короткозамкнених контурів в компенсаторах тиску високовольтних вводів свідчить і про можливість виникнення, під час експлуатації, місць розривів цих контурів – місць, в яких періодично буде виникати та згасати дуга, що призведе до зростання вмісту розчинених, в трансформаторній оливі вводу, газів.

Щоб не виникали короткозамкнені контури, елементи конструкції компенсаторів тиску високовольтних вводів потрібно ізолювати.

1. Чичинский М.И. Повреждаемость маслонаполненного оборудования электрических сетей и качество контроля его состояния // Энергетик. – 2000. – № 11. – С. 29–31. 2. Цурпал С.В. Причины повреждаемости и меры по повышению надежности мощных силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов // Тез. докл. X Междунар. науч.-техн. конф. “Трансформаторостроение-2000” (19–21 сент. 2000 г.). Запорожье. ПО ЗТВ. С. 122–126. 3. Гуменюк А.И., Остапчук А.М., Таловерья В.Л. Некоторые причины появления растворённых газов в масле высоковольтных вводов // Новини енергетики. – 2005. – № 3. – С. 22–24. 4. Гобрей Р., Чернов В., Удод Є. Діагностування електроустановок 0,4–750 кВ засобами інфрачервоної техніки. – К.: КВІЦ, 2007. – 370 с. 5. Карпов Ю.О., Ведміцький Ю.Г., Кухарчук В.В. Теоретичні основи електротехніки. Електромагнітне поле: Підручник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 407 с. 6. Лежнюк П.Д., Бевз С.В. Методи оптимізації в електроенергетиці. Критеріальний метод: Навч. посібник. – Вінниця: ВДТУ, 1999. – 177 с. 7. Применение критериального метода в электроэнергетике: Учеб.пособие / Ю.Н. Астахов, П.Д. Лежнюк. – К.: УМК ВО, 1989. – 140 с.

УДК 621.3.027

В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко, О.Л. Білоконь

Національний університет кораблебудування імені адм. Макарова, м. Миколаїв

КЕРУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТОМ ПОТУЖНОСТІ ПІД ЧАС ПАРАЛЕЛЬНОЇ РОБОТИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА З МЕРЕЖЕЮ

© Рябенський В.М., Ушкаренко О.О., Білоконь О.Л., 2010

Виконано синтез регулятора на базі нечіткої логіки для стабілізації коефіцієнта потужності синхронного генератора під час паралельної роботи з мережею шляхом керування збудженням генератора. Розроблено модель електростанції та отримані результати моделювання роботи регулятора.

Ключові слова: коефіцієнт потужності, генератор, нечітка логіка, моделювання

In the article the synthesis of controller based on fuzzy logic to stabilize the power factor of synchronous generator working in parallel with the network through the control of excitation of generator. The model of power station and simulation results of the regulator have been developed.

Keywords: power factor, generator, fuzzy logic, modeling

Вступ

Зростаюча складність сучасних автономних електроенергетичних систем і зростання вимог до якості електричної енергії в цих системах спричиняє завдання ретельного дослідження автономних електроенергетичних систем (АЕЕС) на різних етапах проектування.

Закономірною тенденцією є неперервне зростання потужності автономних АЕЕС. Зростання потужності АЕЕС своєю чергою ускладнює процес забезпечення заданої якості електроенергії.

Автономна електроенергетична система – сукупність взаємозв'язаних автономних електроенергії, перетворювачів, розподільних, регулювальних та керуючих пристроїв, з'єднувальних кабелів та споживачів [1]. Споживачі електроенергії розраховані працювати на номінальні параметри, які забезпечують їх високі показники ККД, показників надійності, а також тривалий час роботи. Сучасний розвиток комп'ютерних систем зв'язку, оброблення інформації, а також автоматичних систем керування технологічними процесами і виробничими комплексами, висуває підвищені вимоги не тільки до надійності електропостачання, але й до якості електроенергії [2].

Існують режими роботи енергосистем, в яких генератор працює паралельно з мережею. Вважають, що потужність мережі є набагато більшою, ніж потужність генератора. При заданій активній потужності, що виробляється генератором, зміна струму збудження генератора призведе до зміни реактивної потужності, що віддається чи споживається з мережі. Це, своєю чергою, призведе до зміни $\cos\phi$. Для підтримання заданого коефіцієнта потужності необхідно розробити систему, яка б керувала збудженням синхронного генератора та підтримувала $\cos\phi$ на встановленому рівні. Нелінійність дизель-генераторного агрегату змушує змінювати параметри імпульсів керування збудженням для того, щоб забезпечити найкращу якість керування. Для розв'язання цієї задачі може бути використаний математичний апарат нечіткої логіки.

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Нині розроблені системи розподілу активної та реактивної потужності між генераторами, що працюють паралельно. Такі системи випускаються як вітчизняними, так і закордонними компаніями. В цих системах зворотний зв'язок введений по активній та реактивній потужностям відповідно [1–4]. У разі зміни навантаження енергосистеми виконується пропорційний розподіл потужностей між генераторами. При цьому $\cos\phi$ генераторів може не бути оптимальним. Тому актуальним є завдання синтезу системи керування, яка б підтримувала $\cos\phi$ генератора на встановленому рівні.

Задача досліджень

Робота присвячена розробці системи покращання якості електроенергії шляхом керування коефіцієнтом потужності під час роботи синхронного генератора паралельно з мережею. Коефіцієнт потужності змінюється шляхом регулювання збудження синхронного генератора.

Виклад основного матеріалу

Характерної особливістю встановленого режиму роботи АЕЕС виявляється одночасність процесів генерування і споживання однієї кількості потужності. Отже, у встановленому режимі роботи АЕЕС в кожний момент часу зберігається баланс як активної, так і реактивної потужностей. При зменшенні напруги приблизно до $0,85U_{\text{ном}}$ реактивна потужність зменшується у зв'язку з зменшенням намагнічувальної потужності асинхронних двигунів та трансформаторів. При подальшому зниженні напруги асинхронні двигуни, які становлять 60–70 % комплексного навантаження, почнуть гальмувати у зв'язку з зменшенням їх обертового моменту. Споживання реактивної потужності цими двигунами збільшується. У результаті збільшення споживання реактивної потужності збільшуються витрати напруги у мережі, що приводить до подальшого зменшення напруги на навантаженні [3]. Тому необхідно розробити систему, яка керувала б збудженням синхронного генератора, підтримуючи заданий $\cos\phi$.

Функціональна схема другої системи автоматичного керування на базі нечіткої логіки (системи керування з нечітким регулятором (НР)) наведена на рис. 1.

Вхідними змінними використовують поточне значення похибки $\cos\phi$ “ ε ”, яка дорівнює опорний $\cos\phi$ відняти поточний $\cos\phi$, швидкість зміни похибки ε “ $d\varepsilon$ ” та знак $\cos\phi$ “ sign ”.

Для кожної змінної задані лінгвістичні терми, відповідні деяким діапазонам чітких значень. Щоб визначити граничні значення похибки ε розглянемо ймовірні значення опорного $\cos\phi$ та поточного $\cos\phi$. Опорний $\cos\phi$ задається, тому оптимальне значення, яке можна задати $\cos\phi=0,3..1$. Поточний $\cos\phi$ може приймати значення від 0,3 до 1. Враховуючи те, що $\varepsilon=\cos\phi(\text{оп.})-\cos\phi(\text{пот.})$, похибка ε має такі границі [–

0,7..0,7]. Для вхідної змінної “error” (ϵ) використовується п’ять термів: NH – від’ємне велике, NL – від’ємне мале, Z – близьке до нуля, PL – позитивне мале, PH – позитивне велике.

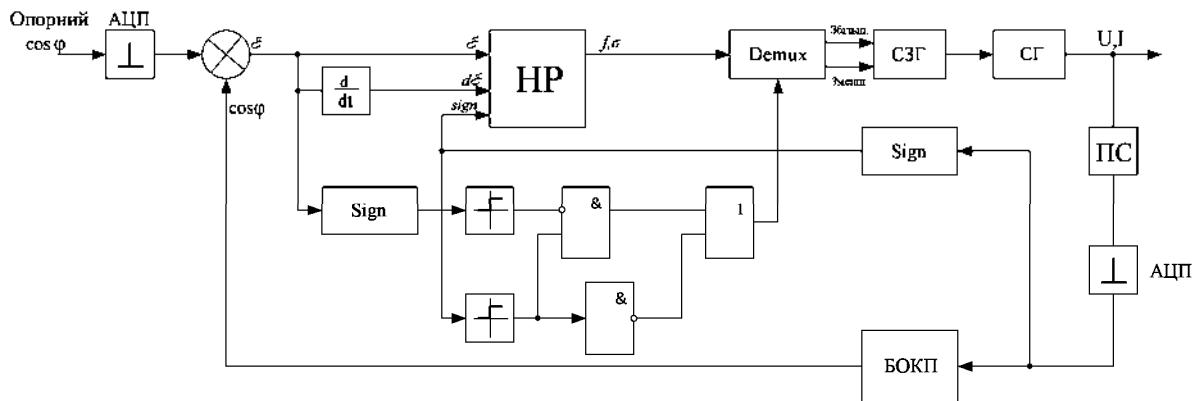


Рис. 1. Функціональна схема системи з регулятором на основі нечіткої логіки:

НР – нечіткий регулятор; ПС – перетворювач сигналів; СЗГ – система збудження генератора; СГ – синхронний генератор; БОКП – блок обчислення коефіцієнта потужності; АЦП – аналого-цифровий перетворювач

Для вхідної змінної “derror” ($d\epsilon$) визначаємо такі границі [-0,2..0,2], оскільки швидкість зміни похибки може зростати та спадати, тоді приймаємо збільшення швидкості за позитивне а зменшення за негативне. Визначаємо такі терми: QD – швидко спадає, SD – повільно спадає, C – постійне, SI – повільно зростає, QI – швидко зростає. На рис. 2 зображено вигляд функцій належності змінної “похибка” та “швидкість зміни похибки” відповідно.

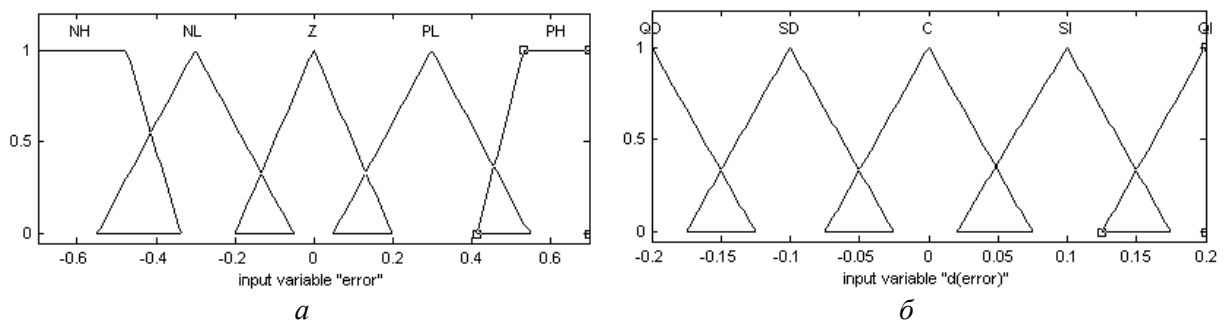


Рис. 2. Функції належності вхідних змінних:
а – “error”; б – “d(error)”

Як вихідні лінгвістичні змінні приймаємо частоту та скважність вихідного сигналу. Лінгвістична змінна “частота” має границі [0...4] Гц та п’ять термів: Z – нульове значення, L – низьке значення, M1 – перше середнє значення, M2 – друге середнє значення, H – високе значення частоти. Лінгвістична змінна “скважність” має границі [0...100] % та чотири терми: Z – нульове значення, L – низьке значення, M – середнє значення, H – високе значення скважності. На рис. 3 зображено вигляд функцій належності змінної “частота” та “скважність” відповідно.

Аналітична формула трикутної функції має вигляд:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases},$$

де a, b, c – параметри функцій належності.

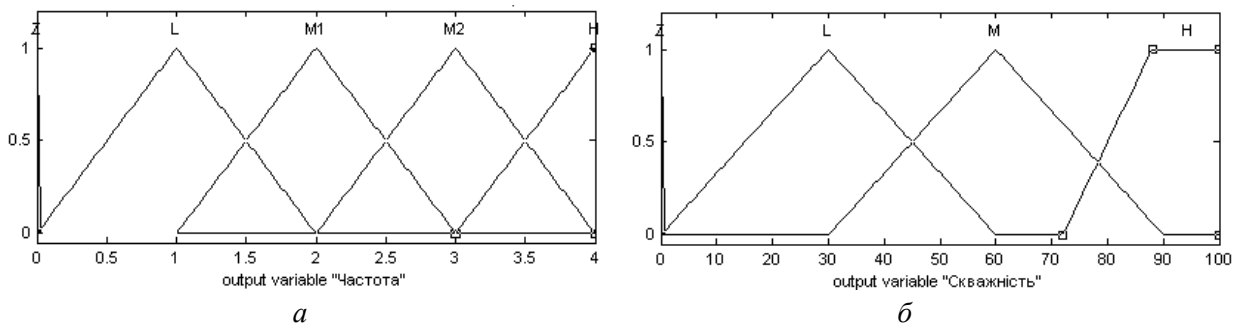


Рис. 3. Функції належності вихідних змінних:
а – “частота”; б – “скважність”

База правил для змінних “частота” та “скважність” має такий вигляд:

ЯКЩО $\varepsilon = PH$ **та** $d\varepsilon = QD$ **та** $sign = L$ **ТО** “частота” = M1, “скважність” = M
ЯКЩО $\varepsilon = PH$ **та** $d\varepsilon = SD$ **та** $sign = L$ **ТО** “частота” = M1, “скважність” = H
ЯКЩО $\varepsilon = PH$ **та** $d\varepsilon = C$ **та** $sign = L$ **ТО** “частота” = M2, “скважність” = M
ЯКЩО $\varepsilon = PH$ **та** $d\varepsilon = SI$ **та** $sign = L$ **ТО** “частота” = M2, “скважність” = H
ЯКЩО $\varepsilon = PH$ **та** $d\varepsilon = QD$ **та** $sign = C$ **ТО** “частота” = H, “скважність” = H
ЯКЩО $\varepsilon = PH$ **та** $d\varepsilon = C$ **та** $sign = C$ **ТО** “частота” = H, “скважність” = H
ЯКЩО $\varepsilon = PL$ **та** $d\varepsilon = QD$ **та** $sign = L$ **ТО** “частота” = M1, “скважність” = L
ЯКЩО $\varepsilon = PL$ **та** $d\varepsilon = SD$ **та** $sign = L$ **ТО** “частота” = M1, “скважність” = M
ЯКЩО $\varepsilon = PL$ **та** $d\varepsilon = C$ **та** $sign = L$ **ТО** “частота” = M1, “скважність” = H
ЯКЩО $\varepsilon = PL$ **та** $d\varepsilon = SI$ **та** $sign = L$ **ТО** “частота” = M2, “скважність” = M
ЯКЩО $\varepsilon = PL$ **та** $d\varepsilon = SD$ **та** $sign = C$ **ТО** “частота” = H, “скважність” = H
ЯКЩО $\varepsilon = PL$ **та** $d\varepsilon = QI$ **та** $sign = C$ **ТО** “частота” = H, “скважність” = H
ЯКЩО $\varepsilon = Z$ **та** $d\varepsilon = SD$ **та** $sign = L$ **ТО** “частота” = L, “скважність” = L
ЯКЩО $\varepsilon = Z$ **та** $d\varepsilon = C$ **та** $sign = L$ **ТО** “частота” = Z, “скважність” = Z
ЯКЩО $\varepsilon = Z$ **та** $d\varepsilon = SI$ **та** $sign = L$ **ТО** “частота” = L, “скважність” = L
ЯКЩО $\varepsilon = Z$ **та** $d\varepsilon = SD$ **та** $sign = C$ **ТО** “частота” = H, “скважність” = H
ЯКЩО $\varepsilon = Z$ **та** $d\varepsilon = C$ **та** $sign = C$ **ТО** “частота” = H, “скважність” = H
ЯКЩО $\varepsilon = Z$ **та** $d\varepsilon = QI$ **та** $sign = C$ **ТО** “частота” = H, “скважність” = H
ЯКЩО $\varepsilon = NL$ **та** $d\varepsilon = C$ **та** $sign = L$ **ТО** “частота” = L, “скважність” = H
ЯКЩО $\varepsilon = NL$ **та** $d\varepsilon = C$ **та** $sign = C$ **ТО** “частота” = M2, “скважність” = H
ЯКЩО $\varepsilon = NL$ **та** $d\varepsilon = QI$ **та** $sign = C$ **ТО** “частота” = H, “скважність” = H
ЯКЩО $\varepsilon = NH$ **та** $d\varepsilon = C$ **та** $sign = L$ **ТО** “частота” = M2, “скважність” = M
ЯКЩО $\varepsilon = NH$ **та** $d\varepsilon = QD$ **та** $sign = C$ **ТО** “частота” = L, “скважність” = M
ЯКЩО $\varepsilon = NH$ **та** $d\varepsilon = C$ **та** $sign = C$ **ТО** “частота” = M1, “скважність” = M
ЯКЩО $\varepsilon = NH$ **та** $d\varepsilon = SI$ **та** $sign = C$ **ТО** “частота” = M1, “скважність” = H
ЯКЩО $\varepsilon = NH$ **та** $d\varepsilon = QI$ **та** $sign = C$ **ТО** “частота” = M2, “скважність” = H

В результаті моделювання були отримані поверхні нечіткого виводу залежності “частоти” та “сважності” від “похибки”, “швидкості зміни похибки” та “sign”. На рис. 4, а, показана поверхня залежності “частоти” від ε та $d\varepsilon$ при індуктивному характеру навантаження. На рис. 4, б, наведена поверхня залежності “сважності” від ε та $d\varepsilon$ при індуктивному характері навантаження.

Поверхня на рис. 4, а, симетрична відносно точки початку координат. Мінімальне значення частоти спостерігається в районі $\varepsilon=0$ та $d\varepsilon=0$. Максимуми частоти спостерігаються в області, де “помилка” позитивна велика та “швидкість зміни похибки” позитивна велика, та області, де “помилка” негативна велика та “швидкість зміни похибки” негативна велика. Поверхня на рис. 4, б, дзеркальна відносно початку координат. Область мінімумів спостерігається в районі $\varepsilon=0$. В районі

$d\varepsilon=0$ спостерігаються сплески максимумів тому, що в цих умовах подаються імпульси низької частоти, щоб забезпечити кращу якість керування.

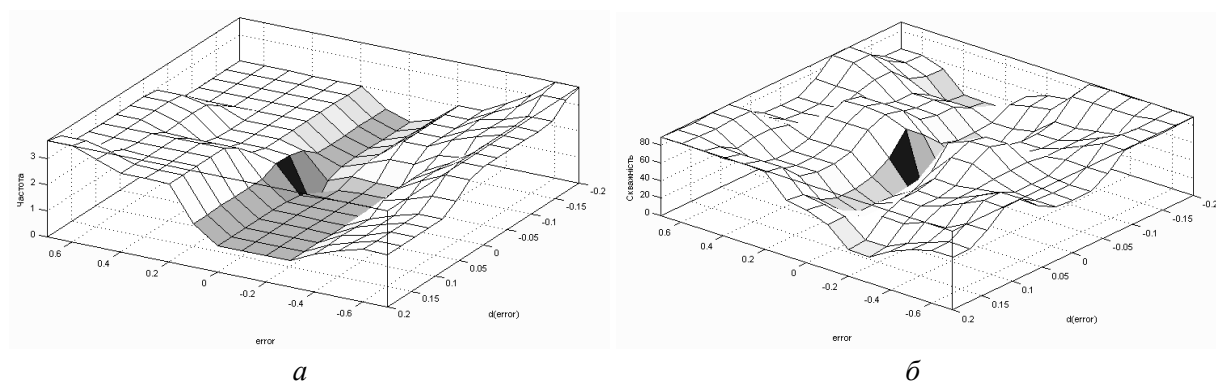


Рис. 4. Поверхня залежності від ε та $d\varepsilon$ при індуктивному характері навантаження:
а – частоти; б – скважності

Лінеаризовані системи адекватні тільки в невеликій області відхилення від встановленого стану. В пікових та екстремальних ситуаціях, коли дизель-генератори працюють в режимах великих відхилень, значно проявляються їх нелінійні властивості і не врахування цих властивостей сприяє виникненню та розвитку системних аварій. Це значить, що для ефективного керування, яке забезпечує зберігання асимптотичної (динамічної) стійкості енергосистеми, необхідно розглядати нелінійні моделі енергооб'єктів і проводити синтез та проектування систем керування методами, які в найбільш повному ступені дозволяють врахувати явлення взаємопов'язаності та не лінійності процесів в енергооб'єктах.

Matlab-модель наведена на рис. 5.

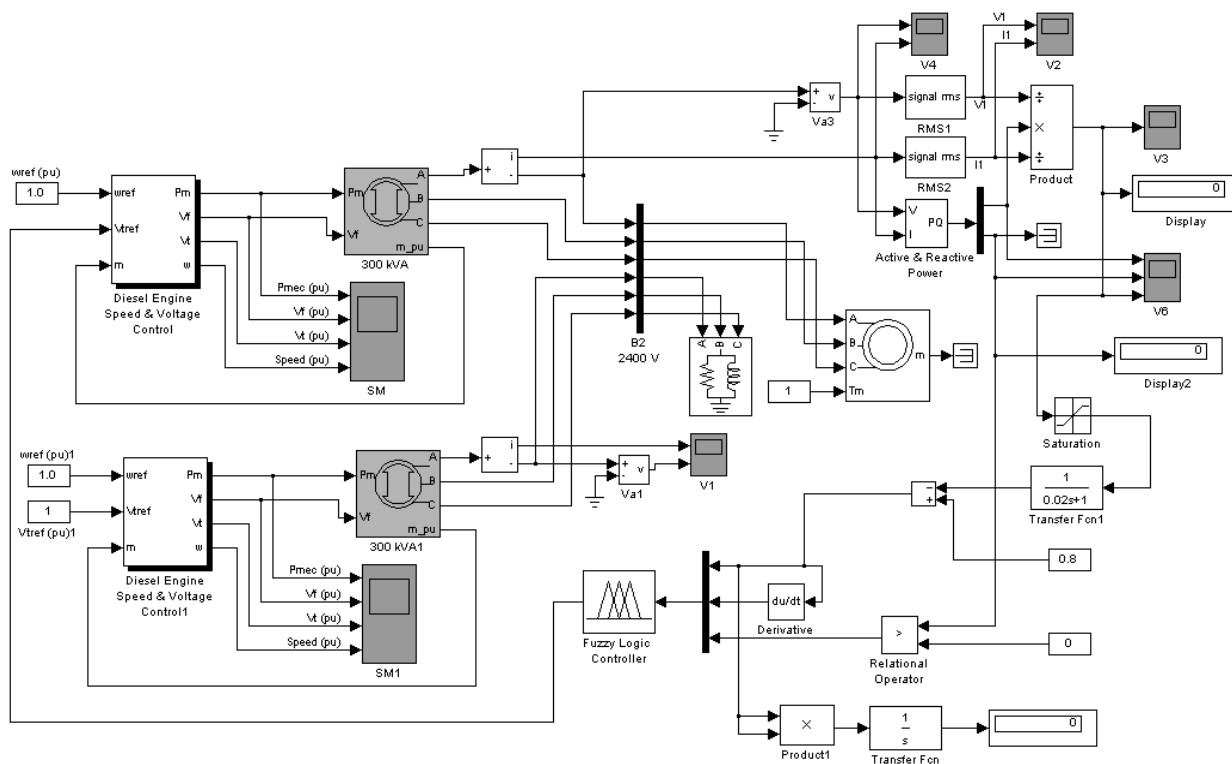


Рис. 5. Matlab-модель АЕЕС з Fuzzy-регулятором $\cos \varphi$

На рис. 6 наведені результати моделювання – графік зміни $\cos \varphi$.

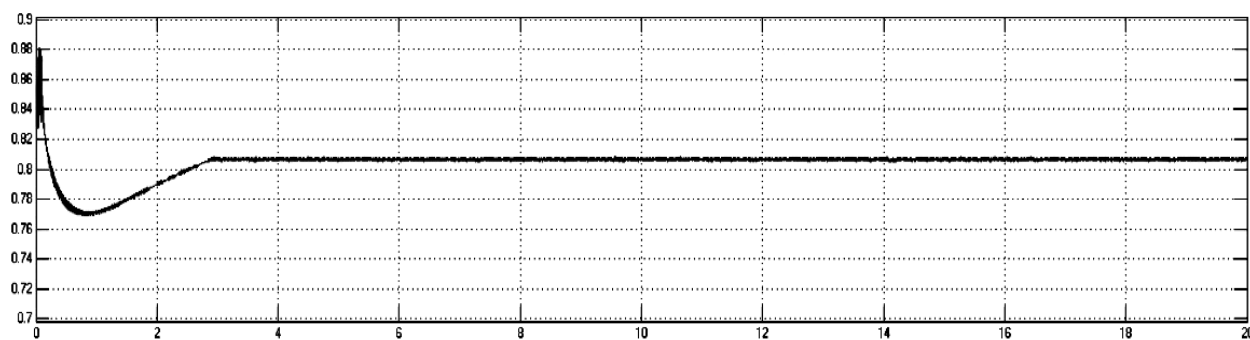


Рис. 6. Графік зміни $\cos j$

Висновки

1. Для ефективного керування, яке забезпечує зберігання асимптотичної (динамічної) стійкості енергосистеми, необхідно розглядати нелінійні моделі енергооб'єктів і здійснювати синтез та проектування систем керування методами, які в найбільш повному ступені дозволяють врахувати явлення взаємопов'язаності та нелінійності процесів в енергооб'єктах.

2. Розроблені ефективні структури регуляторів коефіцієнта потужності генератора та Matlab-модель АЕЕС для дослідження якості роботи регуляторів. Вперше розроблено структуру регулятора з використанням апарата теорії нечіткої логіки для керування коефіцієнтом потужності в АЕЕС.

1. Костин В.Н., Распопов Е.В., Родченко Е.А. *Передача и распределение электроэнергии. Учебное пособие.* – СПб.:СЗТУ, 2003. – 147 с. 2. *Электрические системы. Электрические сети: Учеб. для электроэнерг. спец. вузов.* / В.А. Веников, А.А.Глазунов, Л.А. Жуков и др.; под ред. В.А. Веникова, В.А. Строева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1998. – 230 с. 3. Железко Ю.С. *Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии.* – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 180 с. 4. Овчаренко Н.И. *Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем.* – М.: “Издательство НЦ ЭНА”, 2001 г. 5. Симановский А.Ю. *Типы регуляторов. Методика настройки регуляторов. Инструкция.* Ивано-Франковск, 2004. <http://www.microl.com.ua>.