

УДК 621.3.077.8

Магістрант VI курсу, гр. ОЕ-72 Моргун К.К.

доц., к.т.н. Замулко А.І.

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ СПОСОБІВ ТА ЗАСОБІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Актуальним питанням для електроенергетичної галузі України є підвищення ефективності передачі електричної енергії, ефективне використання електричних мереж та устаткування, зменшення втрат електроенергії в мережах. Традиційно, реалізація цих завдань провадиться шляхом встановлення компенсуючих пристроїв в вузлах найбільшого споживання реактивної енергії.

В роботі проведено аналіз обсягів споживання реактивної енергії та її грошового еквіваленту, на базі форм статистичної звітності «49-енерго». Проведено прогнозування обсягів споживання реактивної енергії на основі моделі нечітких часових рядів, також проведено аналіз раціональності та економічної доцільності вибору місця встановлення компенсуючих пристроїв реактивної енергії в залежності від напруги у вузлі монтажу та номінальної напруги споживачів реактивної енергії.

Ключові слова: Компенсація реактивної потужності, аналіз споживання реактивної енергії, нечіткі часові ряди, «49-енерго».

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Актуальным вопросом для электроэнергетической отрасли Украины является повышение эффективности передачи электрической энергии, эффективное использование электрических сетей и установок, снижение потерь электроэнергии в сетях. Традиционно, реализация этих задач производится путем установки компенсирующих устройств в узлах наибольшего потребления реактивной энергии.

В работе проведен анализ объемов потребления реактивной энергии и ее денежного эквивалента, на базе форм статистической отчетности «49-энерго». Проведено прогнозирование объемов потребления реактивной энергии на основе модели нечетких временных рядов, также проведено анализ рациональности и экономической целесообразности выбора места установки компенсирующих устройств реактивной энергии в зависимости от напряжения в узле и номинального напряжения потребителей реактивной энергии.

Ключевые слова: Компенсация реактивной мощности, анализ потребление реактивной энергии, нечеткие временные ряды, «49-энерго».

COMPLEX ANALYSIS OF REACTIVE POWER COMPENSATION METHODS AND DEVICES

Topical issues in electric power industry of Ukraine are: increasing the efficiency of electricity power transmitting, the effective exploitation of electrical grids and electrical equipment, electric power losses reduction. Generally, the implementation of these tasks is performed by setting of reactive power compensation devices at the sites of the highest reactive power consumption.

This article represents analysis of the reactive power consumption and cost of the reactive power consumption. This analysis based on the statistical report "49-energo". Amount of the reactive power consumption was forecasted by the method of fuzzy time series. Also in this paper was analyzed rationality and feasibility of reactive power compensation devices installation point, depending on the rated voltage of reactive power consumers.

Keywords: Reactive power compensation, analysis of the reactive power consumption, fuzzy time series, "49-energo"

Вступ. В умовах зростання цін на енергетичні ресурси, збільшення обсягів виробництва та інфраструктури в містах актуальнішим стає питання енергозбереження. Як відомо, зі всіх способів енергозбереження на компенсацію реактивної потужності припадає біля вісімдесяти відсотків можливої економії електричної енергії в передавальних мережах.

Більшість електроприладів (двигуни, електромагнітні пристрої, освітлювальне устаткування тощо), а також засоби перетворення електроенергії (трансформатори, перетворювачі) внаслідок своїх фізичних властивостей потребують для роботи, крім активної потужності, реактивну потужність (РП), що протягом половини періоду основної частоти мережі спрямована у бік електроспоживача, а впродовж іншої половини періоду - у зворотний бік. Незважаючи на те, що на вироблення РП, активну потужність, а отже, і паливо безпосередньо не витрачають, її передавання по мережі супроводжується витратами активної енергії, які покриваються активною енергією генераторів (через додаткову витрату палива).

Крім того, передавання РП додатково завантажує електричні мережі й встановлене в них устаткування (передусім, силові трансформатори), зменшуючи їх пропускну спроможність. Таким чином наявність некомпенсованої реактивної потужності в електричних мережах призводить до підвищення сплати за електричну енергію, додаткових втрат та перегрівання кабелів, перенавантаження електричних підстанцій, необхідності обирати трансформатори та кабелі більшої потужності, що також призводить до додаткових фінансових втрат.

Як відомо, в наш час стрімкіше зростає споживання реактивної енергії ніж соживання активної енергії. Це обумовлено впровадженням сучасних електротехнічних та радіотехнічних пристроїв (системи освітлення, реклами, кондиціонування, частотні перетворювачі електричних приводів, імпульсні блоки живлення) в електричні мережі споживачів.

Тому актуальним питанням для електроенергетики України є проведення аналізу регіонів країни щодо споживання та генерації реактивної потужності. Також важливо контролювати обсяги генерації реактивної потужності, для вирішення цього питання необхідно звернутися до методів прогнозування очікуємих величин.

Завдання та мета дослідження. Завданням роботи є провести аналіз існуючої статистичної звітності з питань споживання та розрахунків за реактивну енергію та визначити її достатність щодо здійснення керування, регулювання та відповідного нагляду. Також розробити показники для проведення оцінки ефективності використання засобів компенсації реактивної енергії у розрізі регіонів України, прогнозування обсягів споживання реактивної енергії та вибір раціонального способу реалізації компенсації реактивної потужності.

Методологія. Для проведення аналізу споживання реактивної енергії у розрізі по регіонах України, було використано кластерний аналіз. Цей метод було обрано з причин наочності результатів аналізу, також цей метод дає можливість сформулювати регіональний індекс споживання реактивної енергії, дає можливість у аналізі врахувати одразу чотири параметри одночасно, дає можливість побачити на діаграмі відстань від точки, що зображує певний регіон до ідеальної точки.

Вихідні данні для аналізу були взяті з форми статистичної звітності щодо споживання реактивної енергії по регіонах та в цілому по Україні «49-енерго». Одним з показників, що передбачає форма статистичної звітності є «споживання реактивної електроенергії x мереж

електропередавальної організації (тис.квар·год)», «розрахункові втрати в трансформаторах (тис.квар·год)», «генерація реактивної енергії з мереж споживачів в мережі електропередавальної організації (тис.квар·год)» та «всього нараховано коштів(без ПДВ)(тис.грн.)»

ЗВІТ Форма № 49 - енерго
ПРО СПОЖИВАННЯ І ОПЛАТУ РЕАКТИВНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СПОЖИВАЧАМИ ЗА 20 Р.

№ п/п	По всіх споживачах, з якими проведені розрахунки								В т.ч. по споживачах, з якими розрахунки почалися у поточному році														
	Найменування регіону, області та електропередавальної організації розрід області		Споживання реактивної електроенергії з мереж електропередавальної організації, тис. кВт·год		Розрахункові втрати в трансформаторах, тис. кВт·год		Генерація реактивної електроенергії з мереж електропередавальної організації, тис. кВт·год		Нараховано коштів за реактивну електроенергію, тис. грн.		Всього нараховано коштів (без ПДВ), в т.ч.:		Оплата (П ₁)		Надбавка (П ₂)		Співнесено споживачам за реактивну електроенергію (без ПДВ), тис. грн.		Виплати електропередавальній організації за ушкодження уламків ліній електропередачі, тис. грн.		Кількість споживачів, яким нараховано плату за перебіг реактивної електроенергії		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

Рис. 1,- форма статистичної звітності «49-енерго»

Оскільки всі складові показники регіонального індексу споживання реактивної енергії по Україні, що наведені вище, мають різні одиниці вимірювання проводимо стандартизацію, нормалізувавши параметри за середнім квадратичним відхиленням:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j}$$

Внаслідок стандартизації показників отримуємо матрицю нормованих значень спостережень. Тоді кожен регіон можна інтерпретувати як деяку точку P_i , координатами якої є величини z_{ij} , $j = 1, 2, 3, \dots, n$. Далі визначемо координати точки $P_0 = (z_{01}, z_{02}, \dots, z_{0n})$, яку будемо називати еталоном. Відстань від точки P_i до точки P_0 знаходимо за формулою:

$$d_{j0} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_{0j})^2}$$

Розрахунок функції переваги індексу регіонального споживання реактивної енергії i -го регіону $f(x_i)$ здійснений за формулою:

$$f(x_i) = 1 - \frac{d_{i0}}{d_0}$$

Для прогнозування значень споживання реактивної енергії споживачами було побудовано математичну модель на базі нечітких часових рядів (НЧР). Модель НЧР може бути використаною там, де в результаті особливостей (невідомий характер взаємодії між вхідними і вихідними параметрами, відсутність нормального розподілу, обмеженість даних, неповнота вихідної інформації) застосування класичних методів статистичного аналізу (однофакторні екстраполяційні регресійні моделі) обмежене.

Головними рисами систем з нечіткої логіки належать: можливість роботи з апріорною невизначеністю вхідної інформації, облік кількісних та якісних змінних і критеріїв, можливість введення знань експерта у вигляді відповідних правил висновку безпосередньо в систему.

Методика проведення прогнозування передбачає наступні етапи:



Функція належності, за допомогою якої визначаються нечіткі множини в повній множині U :

$$\mu_{A_i} = \frac{1}{1 + (0,0001(V_t - \bar{u}_j))^2},$$

де V_t -числові значення приросту споживання реактивної енергії споживачами в t місяці, що послідовно прийняті за середні значення інтервалів

Нечіткі множини представлені в наступному вигляді:

$$A_1 = \{(1/u_1), (0,8/u_2), (0,5/u_3)\}$$

Матрицю нечітких відношень $R(t)$, яка є перетином двох нечітких множин, представлених матрицею нечітких приростів споживання реактивної енергії $S(t)$ за $(t-2)$, $(t-3)$, ..., $(t-22)$ -місяць і матрицею нечіткого приросту споживання реактивної енергії за $(t-1)$ -місяць, обчислюємо за формулою:

$$R(t)[i, j] = S(t)[i, j] \cap N(t)[i, j] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1j} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{i1} & r_{i2} & \dots & r_{ij} \end{bmatrix}$$

Обчислюємо прогнозоване значення приросту податкових надходжень для t місяця у вигляді нечіткої можини:

$$F(t) = \left[\max(r_{11}, r_{21}, \dots, r_{i1}) \max(r_{12}, r_{22}, \dots, r_{i2}) \dots \max(r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{ij}) \right]$$

Перетворення нечітких значень приросту податкових надходжень у чіткі проводимо за формулою:

$$V(t) = \frac{\sum_{j=1}^3 F_t(u_j) \bar{u}_j}{\sum_{j=1}^3 F_t(u_j)},$$

де $F_t(u_j)$ -значення функції належності для t місяця.

Результати дослідження. За результатами дослідження, після проведення аналізу існуючої на даний час в Україні статистичної звітності з обліку споживання та сплати за реактивну енергію, було зазначено достатність існуючої звітності для використання у здійсненні регулювання та контролю за обсягами спожитої реактивної потужності. Було проведено аналіз регіонів України щодо споживання реактивної енергії. Запропоновано формування та використання регіонального індексу споживання реактивної енергії. Отримано діаграму, що ілюструє значення індексу споживання реактивної потужності по регіонах України.

Діаграма підтверджує диференціацію значень індексу споживання реактивної потужності в розрізі регіонів. Отже найвище значення індексу споживання реактивної потужності спостерігається у Донецькій(5), Дніпропетровській(4) , Запорізькій(8), Луганській(12), Харківській(21) областях та Києві(26).

В результаті прогнозування обсягів споживання реактивної потужності на базі математичної моделі НЧР, було отримано результат по споживанню реактивної енергії в Києві, як регіоні зі значним індексом споживання реактивної енергії. Прогнозування проводилось на січень 2013року, середня похибка прогнозування склала 5,32%. Що дає можливість розглядати математичні моделі на базі НЧР як інструмент для прогнозування та контролю за обсягами споживання реактивної енергії.

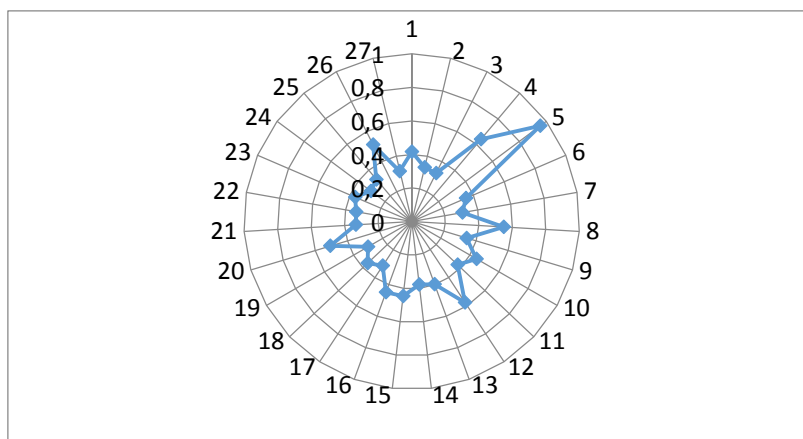


Рис.2,-діаграма, що ілюструє значення індексу споживання реактивної потужності по регіонах України

Для вирішення питання щодо рівня напруги на якій доцільніше встановлювати компенсуючі пристрої було запропоновано розбиття всіх підприємств на дві групи:

-підприємства, що живляться від мережі 6(10) кВ та мають розгалужену внутрішню систему електроживлення з великою кількістю трансформаторів , споживачі напругою 0,38 кВ;

-підприємства, що живляться від мережі 6...110 кВ, що мають навантаження як 6(10) кВ так і 0,38 кВ.

В ході дослідження доведено, що для першої групи підприємств доцільним є використання автоматичних коректорів коефіцієнта потужності на напрузі 0,38 кВ, що оснащенні регуляторами з функцією вимірювання струму та напруги на високій напрузі живлючих трансформаторів, а також мають вбудований блок компенсації холостого ходу трансформатора. Таким чином, компенсуючи напругу на боці 0,38 кВ можна підтримувати потрібний коефіцієнт потужності на боці високої напруги трансформатора 6(10) кВ. Для підприємств другої групи підприємств доцільним є компенсація реактивної потужності на всіх рівнях напруги споживачів, що присутні на підприємстві.

Висновки. В час стрімкого зростання споживання реактивної енергії, обумовленого впровадженням сучасних електротехнічних та радіотехнічних пристроїв (системи освітлення, реклами, кондиціонування, частотні перетворювачі електричних приводів, імпульсні блоки живлення) в електричній мережі споживачів, перед державною енергетичною службою постає завдання повсякчасного контролю та регулювання споживання реактивної потужності. Дані щодо споживання реактивної потужності по регіонах України збираються у форми статистичної звітності. Аналіз форм статистичної звітності показав, що останні є достатніми для використання у здійсненні регулювання та контролю за обсягами спожитої реактивної електроенергії. Для прогнозування очікуємих обсягів споживання реактивної енергії може бути використана математична модель, в основі якої лежать НЧР, що має переваги перед класичними методами статистичного аналізу. Щодо раціонального місця встановлення компенсуючих пристроїв в залежності від номінальної напруги споживачів всі підприємства можна поділити на дві групи ті, що живляться від мережі 6(10) кВ та мають розгалужену внутрішню систему електроживлення з великою кількістю трансформаторів , споживачі напругою 0,38 кВ та підприємства, що живляться від мережі 6...110 кВ та мають навантаження

як 6(10) кВ так і 0,38 кВ. Компенсаторні пристрої в першій групі підприємств доцільно встановити на напрузі 0,38кВ, в другій – на всіх рівнях напруги споживачів.

Використані джерела:

1. Федоров А.А. Теоретические основы электроснабжение промышленных предприятий.–М.:Энергия, 1976.
2. Веников В.А., Жуков Л.А., Карташов И.И., Рыжов Ю.П. Статические источники реактивной мощности в электрических сетях. – М.: Энергия, 1975. – 136 с.
3. Константинов Б.А., Зайцев Г.З. Компенсация реактивной мощности. – Л.: Энергия, 1976. – 101 с.
- 4.Дуброва Т. А.. Статистические методы прогнозирования: Учеб.пособие для студ. вузов, обуч. по спец. 061700 "Статистика" и др. экон. спец. — М. : ЮНИТИ, 2003. — 206 с.
- 5.К.М. Березька, В.В.Маслій «Методологічні аспекти застосування моделі нечітких часових рядів для прогнозування податкових надходжень».
- 6.Л.Лукань, Г.Цегелик, «Застосування кластерного аналізу для оцінки розвитку малого підприємництва в регіонах України»