

УДК 621.311.031.004.18

Закладний О.М., Закладний О.О. – кандидати технічних наук, Ільчук О.С. - магістр

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ УСТАНОВОК ОБ'ЄКТІВ ЦИВІЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Запропоновано напрямки підвищення рівня енергоефективності для вентиляційних установок. Проведено аналіз компенсаторів реактивної потужності. Наведено імітаційну модель чотирирівневого коректора коефіцієнта потужності та показано результати імітаційного моделювання.

Ключові слова: реактивна потужність, коректор коефіцієнта потужності, потужність спотворень, активний фільтр.

Zakladnyi A., Zakladnyi O. – Pr. Doctors, Ilchuk O.- master.

INCREASING LEVEL OF ENERGY EFFICIENCY OF THE VENTILATING IN THE INSTALLATIONS OBJECTS OF CIVIL USES

Directions for increase level energy efficiency of ventilation systems. It was organize collection of analytical data of the reactive power compensators. An imitation model of four-power corrector of factor was public in the article and was show the results of the simulation.

Key words: reactive power, power corrector of factor, power distortion, the active filter.

Вступ. Однією з найважливіших проблем підвищення конкурентоспроможності вітчизняної продукції на світовому ринку є зниження енергетичної складової в структурі її собівартості. Вартість електроенергії, що споживається електромеханічною системою (ЕМС) протягом життєвого циклу (терміну експлуатації), значно перевищує вартість обладнання і витрати на обслуговування. Експлуатація ЕМС з низькими енергетичними характеристиками призводить до збільшення фінансових витрат, зумовлених зростанням електроспоживання [1,2,3].

Проблема підвищення рівня енергоефективності набуває особливої актуальності внаслідок безперервного зростання кількості потужних несиметричних, нелінійних споживачів електроенергії, що істотно погіршують показники якості електроенергії.

Під час роботи електрообладнання на живильних шинах мережі змінного струму виникають стрибки реактивної потужності, що споживається, спотворення з коефіцієнтом несинусоїдальності до 10 - 20%, а також за несиметричного навантаження, виникає несиметрія струмів фаз. Ці явища негативно позначаються не лише на споживачах, підключених до даної мережі живлення, але й на силовому розподільчому устаткуванні[4].

Мета роботи. Підвищення рівня енергоефективності вентиляційних установок об'єктів цивільного призначення.

Матеріали і результати дослідження. Означено напрямки підвищення рівня енергоефективності вентиляційних установок:

економія електроенергії вентиляторними установками за рахунок підвищення ефективності виконання технологічного процесу;

вибір раціональних режимів роботи й експлуатації електропривода;

вибір раціонального типу електропривода вентиляційної установки і перехід від нерегульованого електропривода до регульованого;

поліпшення якості електроенергії засобами силової перетворювальної техніки регульованого електропривода.

На рис. 1 показані напрямки підвищення рівня енергоефективності вентиляційних установок.

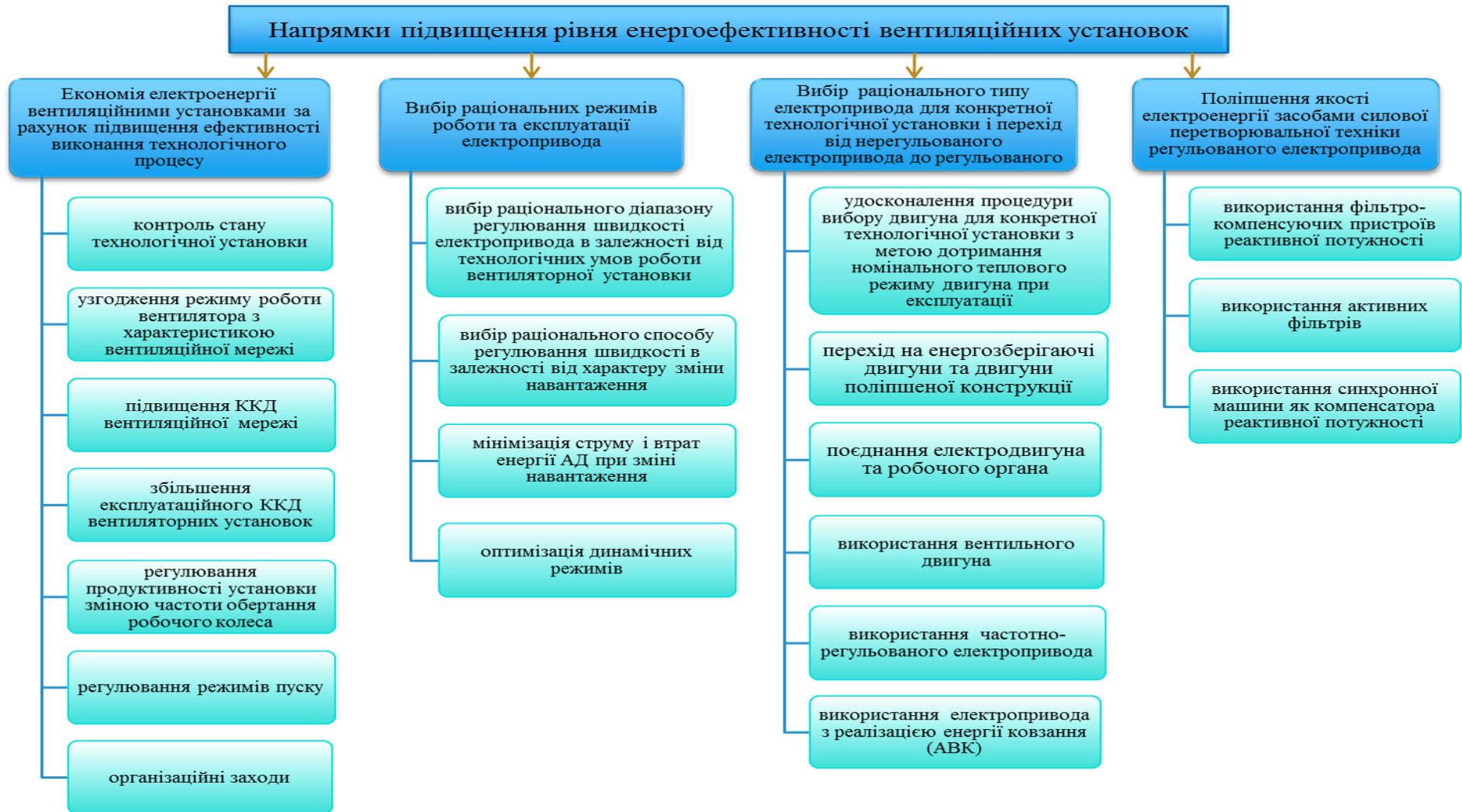


Рисунок 1 - Напрямки підвищення рівня енергоефективності вентиляційних установок

Виявлено, що найбільший рівень енергоефективності досягається за рахунок: вибору раціонального типу електропривода вентиляційної установки і переходу від нерегульованого електропривода до регульованого поліпшення якості електроенергії засобами силової перетворювальної техніки регульованого електропривода.

Удосконалювання технологічних процесів безпосередньо пов'язано із застосуванням регульованого електропривода. Це сприяє вирішенню завдань забезпечення оптимальних режимів роботи механізмів, зростання продуктивності праці, підвищення ефективності використання енергії, надійності й строку служби устаткування.

В енергозберігаючих двигунах за рахунок збільшення маси активних матеріалів (заліза і міді) підвищено номінальні значення ККД і $\cos \phi$. Енергозберігаючі двигуни дають ефект за постійного навантаження. Доцільність застосування енергозберігаючих двигунів повинна оцінюватися з урахуванням додаткових витрат, оскільки невелике (до 5%) підвищення номінальних ККД і $\cos \phi$ досягається за рахунок збільшення маси заліза на 30-35%, міді на 20-25%, алюмінію на 10-15% і в цілому двигуна на 25-30% відносно звичайних машин.

Залежності ККД і $\cos \phi$ від номінальної потужності для звичайних і енергозберігаючих двигунів наведено на рис. 2

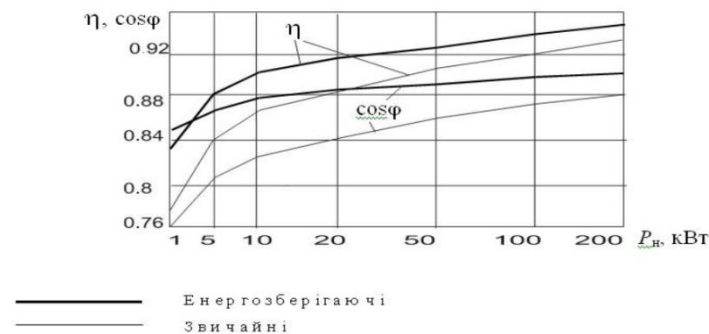


Рисунок 2 - Залежності ККД і $\cos \phi$ від номінальної потужності для звичайних і енергозберігаючих двигунів

Регульований електропривод з перетворювачем частоти являє собою нелінійне навантаження для мережі живлення змінного струму і є джерелом реактивної потужності, а також генерує в мережу гармоніки кратні частоті мережі і несучій частоті широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) інвертора.

Зниження коефіцієнта потужності електропривода збільшує реактивну потужність в електропостачальній системі (ЕПС), що призводить до додаткових втрат напруги й енергії в ній і вимагає збільшення пропускної спроможності її елементів. Підвищення рівня електромагнітних перешкод у мережі призводить до збою в роботі інших електронних систем, які працюють у безпосередній близькості від перетворювача частоти та мають спільні з ним шини змінного струму[1].

На даний час застосовуються такі методи забезпечення якості електроенергії:

- зниження рівня вищих гармонік засобами мережі живлення;
- застосування багатофункціональних пристроїв;
- використання спеціальних способів керування і схемних рішень вентильних перетворювачів регульованого електропривода;
- використання традиційних засобів компенсації реактивної потужності (КРП) (синхронні двигуни і компенсатори, а також батареї конденсаторів).

На рис. 3 показана класифікаційна схема компенсаторів реактивної потужності.



Рисунок 3 – Класифікаційна схема компенсаторів реактивної потужності

Для компенсації реактивної складової потужності пропонується використовувати чотирирівневий компенсатор реактивної потужності та потужності спотворень (рис. 4). Використання багаторівневої топології на базі каскадної побудови силового інвертора вигідніше в порівнянні з іншими типами через економічне використання ключових і пасивних елементів, поліпшену форму вихідної напруги інвертора, а також ідентичність їх побудови – однофазних мостових інверторів, що спрощує не лише конструкцію, а й математичний аналіз даного типу компенсатора.[5,6]

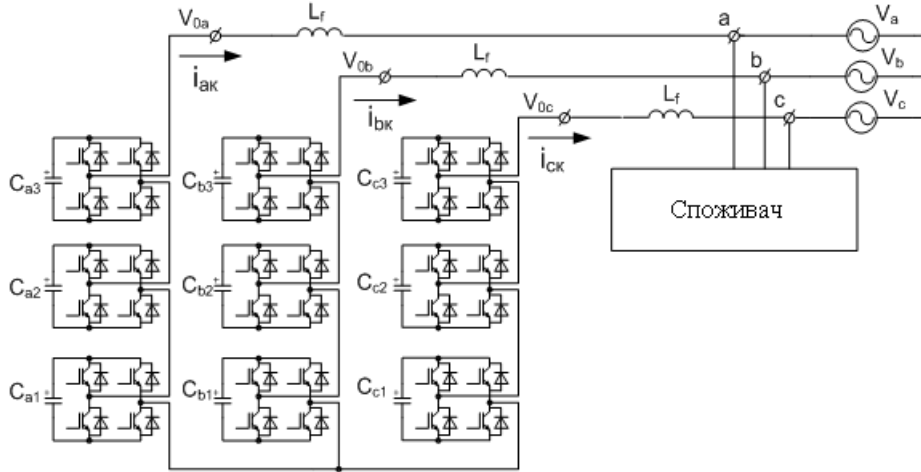


Рисунок 4 - Чотирирівневий компенсатор реактивної потужності та потужності спотворень

На рис. 5 наведено структурну схему перерозподілу потужностей

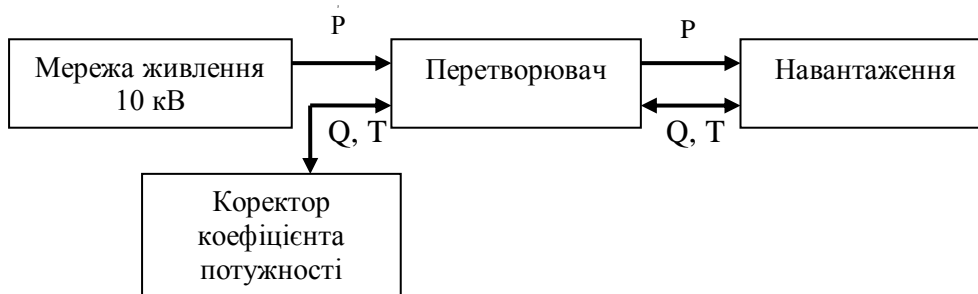


Рисунок 5 - Структурна схема перерозподілу потужностей

Математичний аналіз досліджуваної схеми проводився в синхронній системі dq-координат, орієнтованій за вектором напруги мережі живлення. Було отримано опис компенсатора для усередненої (1),(2), і малосигнальної (3),(4) математичних моделей:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{bmatrix} = \frac{3E}{\omega L_s} \begin{bmatrix} f_d \\ f_q \\ f_0 \end{bmatrix} - \frac{1}{\omega L_s} \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \\ V_0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R_s / \omega \cdot L_s & -\omega & 0 \\ \omega & R_s / \omega \cdot L_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s / \omega \cdot L_s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\frac{dE_m}{dt} = -\frac{3E_m}{R_s C} - \frac{1}{3C} \begin{bmatrix} f_{dm} & f_{qm} & f_{0m} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{bmatrix} = \frac{3E}{\omega L_s} \begin{bmatrix} f_d \\ f_q \\ f_0 \end{bmatrix} + \frac{3 \cdot e}{\omega L_s} \begin{bmatrix} F_d \\ F_q \\ F_0 \end{bmatrix} - \frac{1}{\omega L_s} \begin{bmatrix} v_d \\ v_q \\ v_0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R_s / \omega L_s & -\omega & 0 \\ \omega & R_s / \omega L_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s / \omega L_s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$\frac{de_m}{dt} = -\frac{3e_m}{R_s C} - \frac{1}{3C} \begin{bmatrix} I_d & I_q & I_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_{dj} \\ f_{qj} \\ f_{0j} \end{bmatrix} - \frac{1}{C} \begin{bmatrix} F_{dm} & F_{qm} & F_{0m} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_d \\ f_q \\ f_0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де f, i, e, v – відповідно відхилення параметрів скважності ШІМ, струму ККП, напруги на конденсаторах і мережі від точок спокою F, I, E і V відповідно.

Використовуючи математичний опис каскадного багаторівневого коректора коефіцієнта потужності(ККП) можна знайти передавальні характеристики основних параметрів пристрою. Провести аналіз стійкості функціонування системи управління та розрахувати параметри регульовальних ланок можна або за передавальними функціями (5) - (7). За відомим станом ККП і навантаження (струми і напруги) визначається необхідна вихідна напруга ККП для формування компенсованого струму[7].

$$W_{idd} = W_{iqq} = \frac{NE(R_s + pL_s)}{L_s^2 p^2 + 2L_s R_s p + (R_s^2 + \omega^2 L_s^2)}, \quad (5)$$

$$W_{iqd} = \frac{-NE\omega L_s}{L_s^2 p^2 + 2L_s R_s p + (R_s^2 + \omega^2 L_s^2)}, \quad (6)$$

$$W_{Eidm} = -\left(\frac{k_{dm} L_s p + k_{qm} L_s \omega + k_{dm} R_s}{3p^2 C L_s + 3p C R_s + k_{dm} k_{qm} N} \right), \quad (7)$$

де N -число інверторів у фазі; E - напруга на конденсаторах; R і L - активний опір та індуктивність фазного реактора; ω - кутова частота мережі; C - ємність конденсатора; k_m - коефіцієнт заповнення ШІМ.

За отриманими передавальними функціями системи управління досліджено стійкість і працездатність компенсатора. Для більш детального і докладного вивчення алгоритмів роботи, способів компенсації, часових та інтегральних характеристик розроблено математичну й імітаційну моделі багаторівневого інвертора в середовищі Matlab / Simulink.

Імітаційна модель чотирирівневого коректора коефіцієнта потужності показана на рис.6.

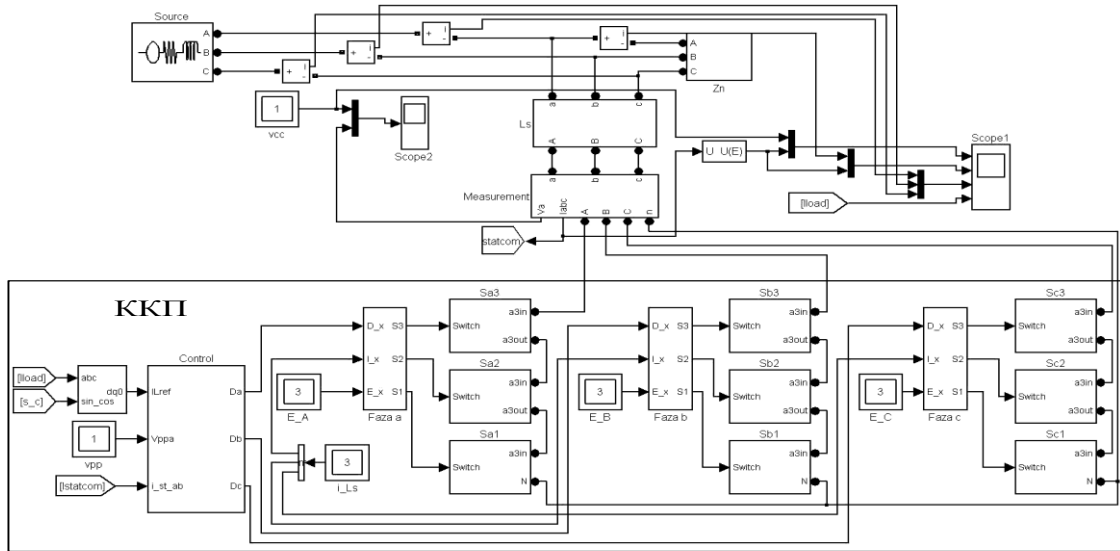


Рисунок 6 - Імітаційна модель чотирирівневого коректора коефіцієнта потужності

Силова частина моделі ККП складається з дев'яти однофазних мостових інверторів, по три в кожній фазі (Sa1-Sa3, Sb1-Sb3, Sc1-Sc3). Структурна схема системи управління коректор коефіцієнта потужності – блок регулятора (Control) і блок ШІМ(Faza), наведено на рис.7 і рис. 8 відповідно.

Блок розрахунку Control включає в себе перетворення Парка (пряме і зворотнє) і синхронізацію з мережею за допомогою фазове автопідстроювання частоти(ФАПЧ). ФАПЧ необхідне для синхронізації dq-координат з мережею. Вихідними даними блоку є синусна і косинусна функції, які однозначно визначають кут положення вектора трифазної напруги.

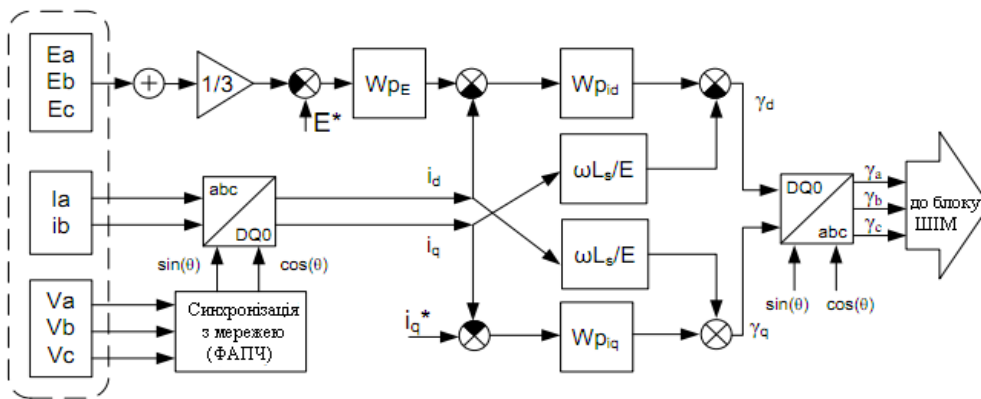


Рисунок 7 - Структурна схема системи управління

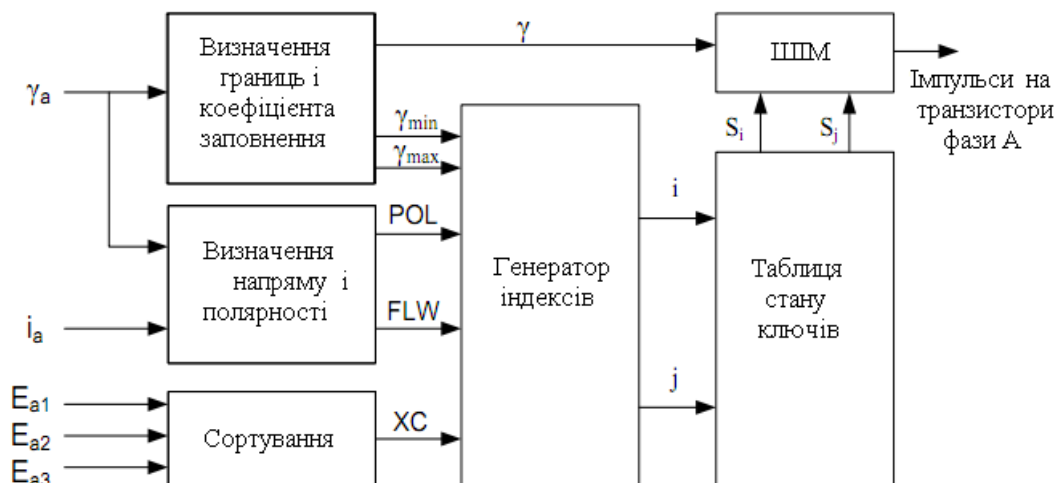


Рисунок 8 - Функціональна схема блоку ШПМ

Часові залежності струму, що споживається навантаженням, струму ККП, а також струму мережі живлення, отримані в результаті імітаційного моделювання в програмному комплексі MATLAB Simulink, наведено на рис. 9.

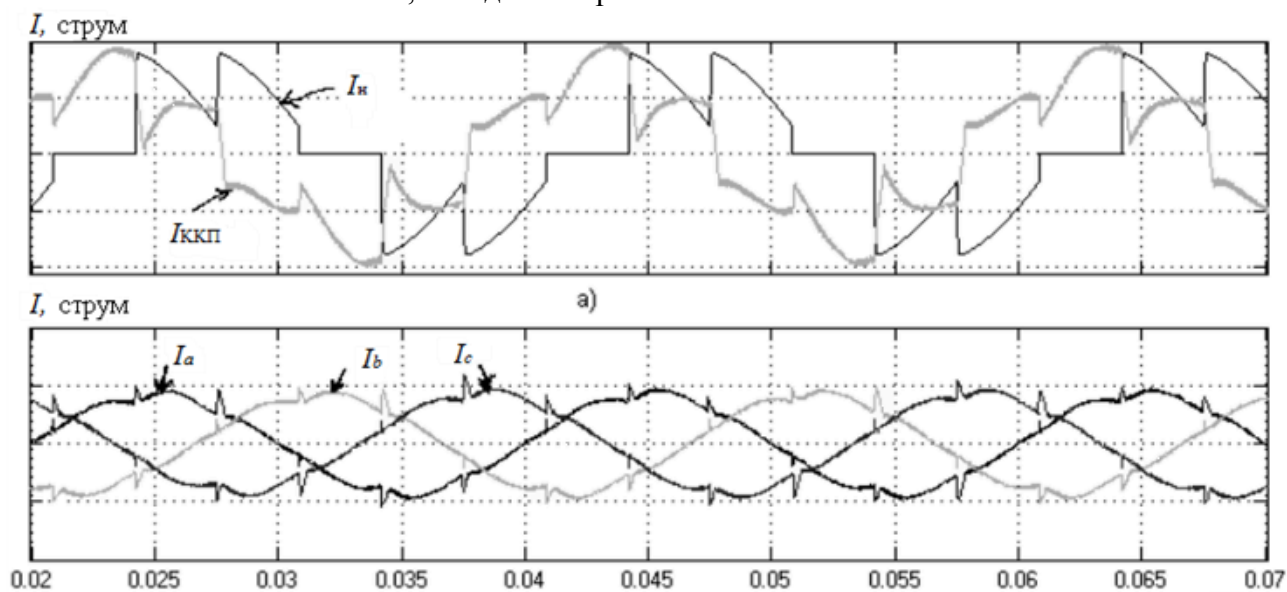


Рисунок 9 - Результати імітаційного моделювання: а – струм навантаження і струм ККП фази А; б – фазні струми мережі

Дослідження, проведені на імітаційній моделі, показали практично нульовий фазовий зсув між струмом і напругою мережі живлення, значне підвищення коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ і зниження коефіцієнта спотворень k ; (з 40% до 7% при $\alpha = 45$) у спектрі струму мережі живлення в повному діапазоні зміни кута управління випрямлячем, а також стійку роботу ККП в усталених і динамічних режимах. Використання ККП для потужності меншої 10% від номіналу небажане через зростання рівня вищих гармонік у вихідному струмі компенсації, і, як результат, - струмів мережі.

На імітаційній моделі було проведено дослідження роботи ККП у повному діапазоні регулювання кута управління керованого випрямляча. На рис. 10 представлено графічні залежності вищих гармонічних складових струму мережі без використання і з використанням ККП. Для порівняння на графіках наведено теоретично отримані залежності [7].

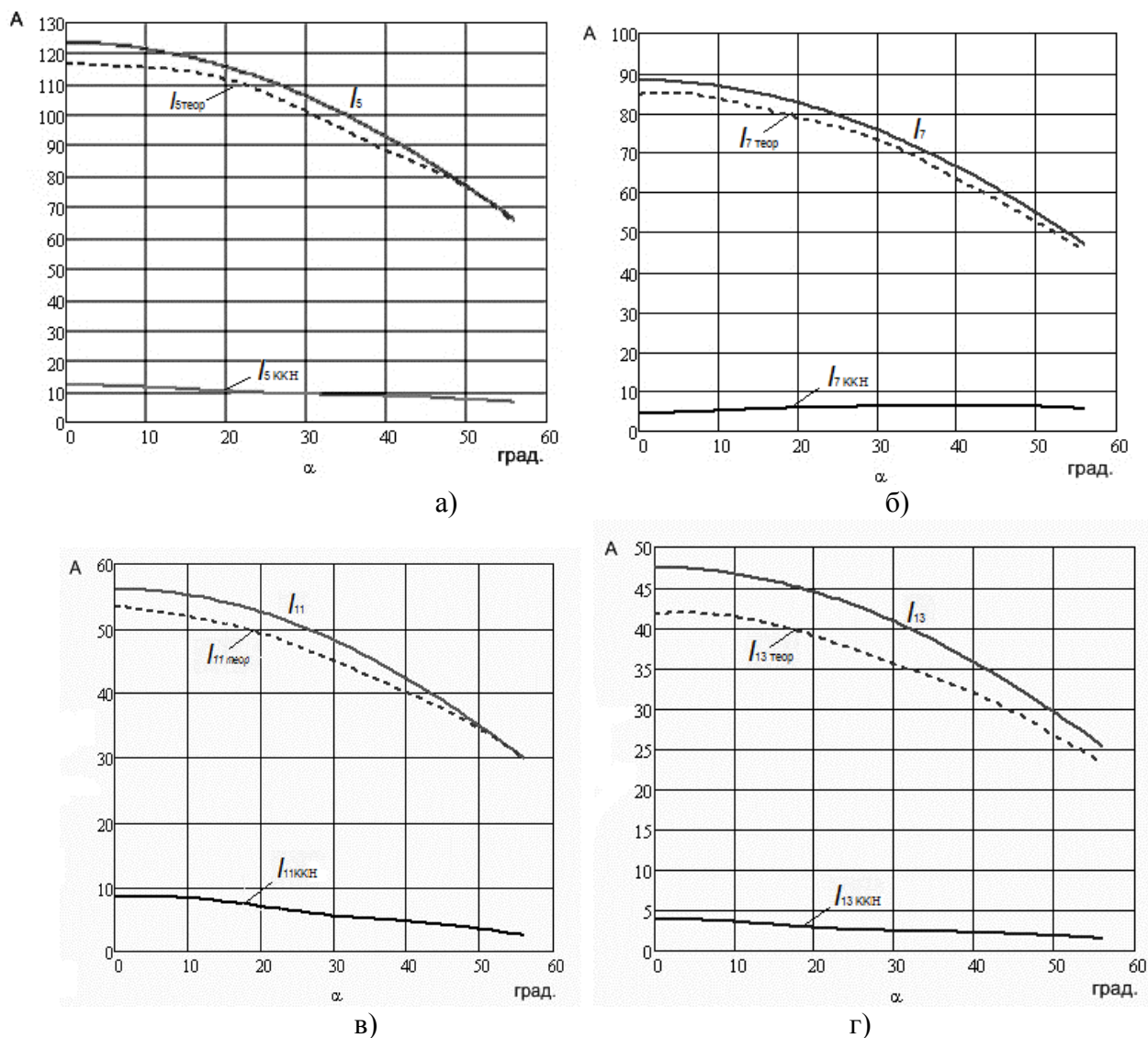


Рисунок 10- Залежності вищих гармонік струму мережі від кута управління: а-п'ята гармоніка; б-сьома гармоніка; в-одинадцята гармоніка; г-тринадцята гармоніка

Результати моделювання показали, що при використанні ККП зсув основної гармоніки в струмі мережі практично дорівнює нулю(рис. 11, а). Зменшення кута зсуву і рівня вищих гармонік призводить до збільшення коефіцієнта потужності(рис.11, б) і поліпшення електромагнітної сумісності.

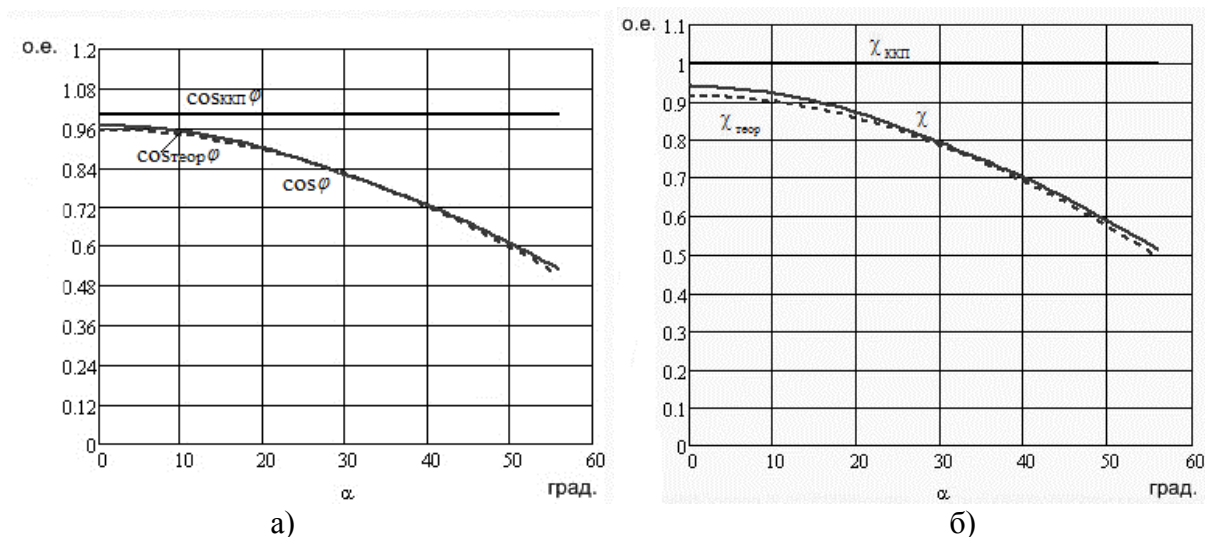


Рисунок 11– Залежності косинуса кута зсуву φ_1 першої гармоніки струму мережі (а) і коефіцієнта потужності від кута керування (б)

Висновки

1. Означено напрямки підвищення рівня енергоефективності для вентиляційних установок:

економія електроенергії вентиляторними установками за рахунок підвищення ефективності виконання технологічного процесу;

вибір раціональних режимів роботи й експлуатації електропривода;

вибір раціонального типу електропривода для вентиляційної установки і перехід від нерегульованого електропривода до регульованого;

поліпшення якості електроенергії засобами силової перетворювальної техніки регульованого електропривода.

2. Дослідження, на імітаційній моделі, показали практично нульовий фазовий зсув між струмом і напругою мережі живлення, значне підвищення коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ і зниження коефіцієнта спотворень k_i (з 40% до 7% при $\alpha = 45^\circ$) у спектрі струму мережі живлення в повному діапазоні зміни кута управління випрямлячем, а також стійку роботу ККП в усталених і динамічних режимах. Використання ККП для потужності меншої 10% від номіналу небажане через зростання рівня вищих гармонік у вихідному струмі, і, як результат, - струмів мережі.

3. Результати порівняльного аналізу вищих гармонік, косинусу кута зсуву, коефіцієнта потужності, активної і реактивної потужностей на моделі без використання компенсатора і з використанням компенсатора підтверджують дані теоретичного розрахунку. Використання компенсатора підвищує косинус кута зсуву практично до 1, знижує вміст вищих гармонік у мережі приблизно в 10 разів, в результаті підвищується рівень енергоефективності.

ЛІТЕРАТУРА

1.Закладний Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник / О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. – К: Кондор, 2005. – 408с.

2. Праховник А.В. Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житлово - комунального господарства України / А.В. Праховник, В.І. Дешко, О.М. Закладний та ін. – Луганськ, вид. «Місячне сяйво», 2010. – 696
3. Закладний О. М. Електропривод: Навч. посіб. / О.М. Закладний, В.В. Прокопенко, О.О. Закладний. – К.: Видавництво «Освіта України», 2009. –351с.
4. Горюнов, И.Т. Проблемы обеспечения качества электрической энергии / И.Т. Горюнов, В.С. Мозгалева, В.А. Богданов // Электрические станции. 2001. № 1
5. Донской Н. Многоуровневые автономные инверторы для электропривода и электроэнергетики / Н. Донской, А. Иванов, В. Матисон, И. Ушаков. – Силовая электроника, 2008, №1.
6. Пронин М. Активные фильтры высших гармоник. Направления развития / М. Пронин.- Новости Электротехники, 2006, №2(38).
7. Алтунин Б.Ю. Корректор коэффициента мощности в высоковольтной распределительной электросети на базе многоуровневого каскадного преобразователя с ШИМ на высокой частоте / Б.Ю. Алтунин, М.Н. Слепченков, И.А. Карнавский.- Вестник Южно-Уральского гос. ун-та. Серия “Энергетика”, 2008, вып.9, №11.