

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет
Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

(рівень вищої освіти)

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

На тему: «Підвищення показників якості споживання електричної енергії в умовах ПС КРЗ-22 ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» за умови обмеження потужності мережі живлення»

КНУ.МР.141.25.667-02

Виконав студент II курсу , групи СЕП-24м /Гліб БАСС/
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
«Системи електропостачання промислових підприємств,
міст та локальних об'єктів»

(шифр і назва спеціальності, освітньо-професійної програми)

Керівник:

д.е.н., професор

_____/Тетяна БЕРІДЗЕ/

Нормоконтролер:

д.е.н., професор

_____/Тетяна БЕРІДЗЕ/

Завідувач кафедри,

д.т.н., професор

_____/Олег СІНЧУК/

Гарант ОПП:

к.т.н., доцент

_____/Олексій МИХАЙЛЕНКО/

Кривий Ріг
2025 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: магістр

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

БАСС Гліб Геннадійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення показників якості споживання електричної енергії в умовах ПС КРЗ-22 ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» за умови обмеження потужності мережі живлення»
2. Строк подання студентом роботи 15 грудня 2025 р.
3. Мета та завдання кваліфікаційної роботи
Мета роботи – підвищення показників якості споживання електричної енергії в умовах ПС КРЗ-22 ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» за умови обмеження потужності мережі живлення.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити)
1. Загальні питання енергоефективності. 2. Моделювання та оптимізація системи автономного енергоефективного живлення побутових приміщень. 3. Компенсація реактивної потужності у електричних системах енергетичного обладнання з турбомеханізмами
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Економічність регулювання вентиляторних установок різними способами. 2. Залежності потужності споживання насосних приводів для трьох принципів керування. 3. ПС КРЗ-22 ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг». 4. Залежності відносної активної і реактивної потужностей від швидкості.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Берідзе Т.М.		
II	Берідзе Т.М.		
III	Берідзе Т.М.		

7. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Сучасний стан електроенергетичних систем на прикладі промислового підприємства</i>	<i>3 вересня 2025 р.</i>
2	<i>Питання балансу складових електричної потужності</i>	<i>6 вересня 2025 р.</i>
3	<i>Вплив на величину втрат електричної енергії показників якості споживання електричної енергії</i>	<i>11 вересня 2025 р.</i>
4	<i>Енергетичні характеристики електричних систем з турбомеханізмами</i>	<i>13 вересня 2025 р.</i>
5	<i>Обґрунтування методу аналізу енергетичних характеристик енергетичних систем з турбомеханізмами</i>	<i>17 жовтня 2025 р.</i>
6	<i>Розробка алгоритмів вирішення питання підвищення ефективності споживання електричної енергії об'єктів живлення турбомеханізмів</i>	<i>20 листопада 2025 р.</i>
7	<i>Дослідження енергетичних режимів на прикладі обладнання ПС КРЗ-22 ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг»</i>	<i>27 листопада 2025 р.</i>
8	<i>Висновки щодо дослідження енергетичних режимів на прикладі обладнання ПС КРЗ-22 ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг»</i>	<i>09 грудня 2025 р.</i>

Дата видачі завдання 01.09.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Гліб БАСС
(ПІБ)

Керівник роботи _____
(підпис)

Тетяна БЕРІДЗЕ
(ПІБ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему «Підвищення показників якості споживання електричної енергії в умовах ПС КРЗ-22 ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» за умови обмеження потужності мережі живлення», КНУ.РМ.141.25.667-02.

Мета дослідження – підвищення показників якості споживання електричної енергії в умовах ПС КРЗ-22 ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» за умови обмеження потужності мережі живлення.

Об'єкт дослідження – ПС КРЗ-22 ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг».

Предмет дослідження – показники якості споживання електричної енергії за умови обмеження потужності мережі живлення.

Визначення енергетичного балансу при врахуванні схеми живлення та способу керування перетворювальними пристроями а також забезпеченням подібних систем засобами компенсації реактивної складової потужності при врахуванні характеристик електричного навантаження дозволяє суттєво поліпшити показники ефективності енергоспоживання електроенергетичними системами.

Запропонований метод спрощення розрахунків показників якості споживання електричної енергії дозволяє більш дієвими механізмами здійснювати неперервний аналіз у багаторівневій структурі електроенергетичної системи.

Зниження рівню споживання реактивної потужності енергетичною установкою досягається шляхом обмеження зони регулювання первинної ланки перетворювальних пристроїв.

Також для підвищення показників якості споживання електричної енергії може бути використано компенсаційні властивості дво та більше ланкових перетворювальних пристроїв.

У таких пристроях можливо застосовувати різні схеми з'єднання у кожній з перетворювальних ланок а також використовувати різні способи керування кожної з ланок перетворювальної установки.для підвищення показників якості споживання електричної енергії енергоємних об'єктів доцільно також доповнювати запропоновані заходи можливостями зовнішньої компенсації реактивної потужності з використанням компенсаційного ефекту від встановлених статичних конденсаторних установок або синхронних двигунів.

При цьому важливим є аналітичне визначення електромагнітних процесів з розрахунком характеристик та вибором параметрів складових елементів мережі живлення та контролем форми напруги та струму у кожній з ланок перетворення параметрів електричної енергії.

ПС КРЗ-22, ПАТ «АРСЕЛОР МІТТАЛ КРИВИЙ РІГ», МЕРЕЖА ЖИВЛЕННЯ, ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. Загальні питання енергоефективності	11
1.1. Сучасний стан електроенергетичних систем на прикладі промислового підприємства.....	11
1.2. Питання балансу складових електричної потужності	15
1.3. Вплив на величину втрат електричної енергії показників якості споживання електричної енергії.....	17
РОЗДІЛ 2. Розробка алгоритмів ефективного керування енергетичним обладнанням з турбомеханізмами	19
2.1. Енергетичні характеристики електричних систем з турбомеханізмами	19
2.2. Обґрунтування методу аналізу енергетичних характеристик енергетичних систем з турбомеханізмами	25
2.3. Розробка алгоритмів вирішення питання підвищення ефективності споживання електричної енергії об'єктів живлення турбомеханізмів.....	26
РОЗДІЛ 3. Компенсація реактивної потужності у електричних системах енергетичного обладнання з турбомеханізмами.....	29
3.1. Дослідження енергетичних режимів на прикладі обладнання ПС КРЗ-22 ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг».....	29
3.2. Питання балансу електричної потужності енергетичних режимів на прикладі обладнання ПС КРЗ-22 ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» ..	32
3.3. Висновки щодо дослідження енергетичних режимів на прикладі обладнання ПС КРЗ-22 ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг»	35
Висновки	37

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	39
ДОДАТКИ.....	41

ВСТУП

Ефективність енергоспоживання є важливим питанням функціонування промислових підприємств. Наявність електричних навантажень з різними типами режимів роботи та різними номінальними значеннями встановленої потужності змушують виконувати додаткове погодження виходячи з умови належного значення показників якості споживання електричної енергії.

Технологічний процес на промисловому підприємстві безпосередньо впливає на режими роботи промислового обладнання тим самим створюючи умови щодо різноманітності режимів електричних навантажень споживачів електричної енергії. Зі свого боку різноманітність споживачів електричної енергії та їх відмінність за режимами споживання електричної енергії впливає на загальну картину якості споживання електричної енергії.

Можна зазначити що при зміні продуктивності технологічної установки виникає потреба у зміні режимів електроспоживання що обумовлено зміною завантаженості обладнання за основними показниками електроспоживання.

До основних показників електроспоживання промислового обладнання можна віднести значенням активної та реактивної потужності. Для відповідності показників якості споживання електричної енергії їх нормованим значенням при споживанні електричної енергії промисловими підприємствами дотримуються умов балансування між активною та реактивною потужністю.

При відхиленні балансу електричної енергії що споживається промисловим обладнанням можуть виникнути режими при яких суттєво знижуються показники якості споживання електричної енергії. Тому

важливим є своєчасне виявлення та запобіганням протіканню подібних процесів у системах електропостачання.

Недотриманням показників якості споживання електричної енергії відповідно до їх нормованих значень призводить до наявності суттєвих втрат та як наслідок збільшення збитків промислових підприємств.

Так при наявності підвищеної напруги живлення промислового обладнання виникає перегрівання електричних дротів що живлять електротехнічні установки що у свою чергу призводить до підвищення струмів холостого ходу на силових трансформаторах.

Зниженням напруги живленням електричного обладнання у свою чергу призводить до зменшення пускових моментів електричних двигунів що у свою чергу призводить до аварійних режимів роботи даного обладнання. Слід також зазначити що при зміні напруги живлення промислового обладнання виникають зміни у балансі складових потужності при цьому з'являється перевантаженість за реактивною складовою електричної енергії а це як наслідок призводить до зростання втрат також й складової активної потужності.

Негативним фактором прояву зміни напруги живлення промислового обладнання є наявність коливань електричного навантаження що у свою чергу призводить до виникнення резонансних явищ у мережі живлення. Також до проявів зниження показників якості споживання електричної енергії промисловим обладнанням є несиметричність напруги живлення відносно електричного навантаження. Такі режими призводять до суттєвого збільшення електричних втрат та зниження надійності роботи електротехнічних установок.

Також слід зазначити що одним з найшкідливіших факторів прояву зниження показників якості споживання електричної енергії промисловим обладнанням є наявність несинусоїдальної напруги у мережі

живлення. Цей фактор обумовлює виникненням суттєвих втрат електричної енергії у роботі такого навантаження як електричні двигуни силові трансформатори та конденсатори фільтрів.

Наявність у мережі живлення форми напруги викликає виникнення підвищеного рівню гармонійних складових як напруги живлення так і струму який споживають електричні приймачі. Цей факт вносить шкідливі чинники у роботу силового обладнання електротехнічних установок а також впливає на системи релейного захисту та автоматики й на роботу вимірювальних приладів.

Слід зазначити що при погіршенні показників якості споживання електричної енергії промисловим обладнанням значно знижується ефективність передачі електричної енергії від джерел до кінцевих споживачів. Такі прояви суттєво впливають на надійність лінії електропередач та апаратури систем електропостачання.

Отже зазначимо важливість процесу розрахунку та контролю балансу складових показників розподілу електричної енергії на промислових об'єктах. Таким чином актуальною задачею є підвищення показників якості споживання електричної енергії в умовах промислових підприємств з розробкою рекомендацій щодо технічних заходів з поліпшення умов споживання електричної енергії.

РОЗДІЛ 1. Загальні питання енергоефективності

1.1. Сучасний стан електроенергетичних систем на прикладі промислового підприємства

Розглянемо сучасний стан електроенергетичних систем на прикладі промислового підприємства.

Наявність втрат електричної енергії у промислових мережах живлення можуть свідчити про наявність проблем які не вирішені та потребують негайного розв'язку.

До негативних факторів що впливають на стан електротехнічного обладнання промислового підприємства є необхідність суттєвої реконструкції промислових електротехнічних об'єктів.

Також слід зазначити що необхідною складовою є важливість вдосконалення методів експлуатації та керування електротехнічними об'єктами.

Одною з головних задач які має вирішувати питання реконструкції електротехнічного обладнання є зниженням втрат електричної енергії з розробкою відповідних заходів щодо поліпшення умов експлуатації електричних приймачів та мережі живлення.

Такі підходи зазвичай потребують нових шляхів при вирішенні складних електротехнічних завдань.

Важливим є забезпечення достовірних та об'єктивних даних щодо режимів роботи електричного навантаження та режимів енергоспоживання електротехнічних об'єктів.

Такий підхід не обмежується встановленням електричних лічильників та датчиків а потребує переходу до централізованої системи обліку та керування електроенергетичним об'єктом. Процес

енергозбереження супроводжується зниженням втрат електричної енергії безпосередньо технологічним обладнанням.

Особлива увага при цьому має приділятися енергоємним технологічним установкам.

До енергоємних технологічних установок можна віднести турбомеханізми які використовуються у технологічних циклах багатьох виробничих процесів та мають велику встановлену потужність звідки й необхідність враховувати їх режими роботи як ті що призводять до суттєвого впливу на режими роботи іншого електротехнічного обладнання.

Також важливим чинником є відповідність схемотехнічних рішень у системі електропостачання які мають відповідати вимогам технологічних ліній промислових підприємств.

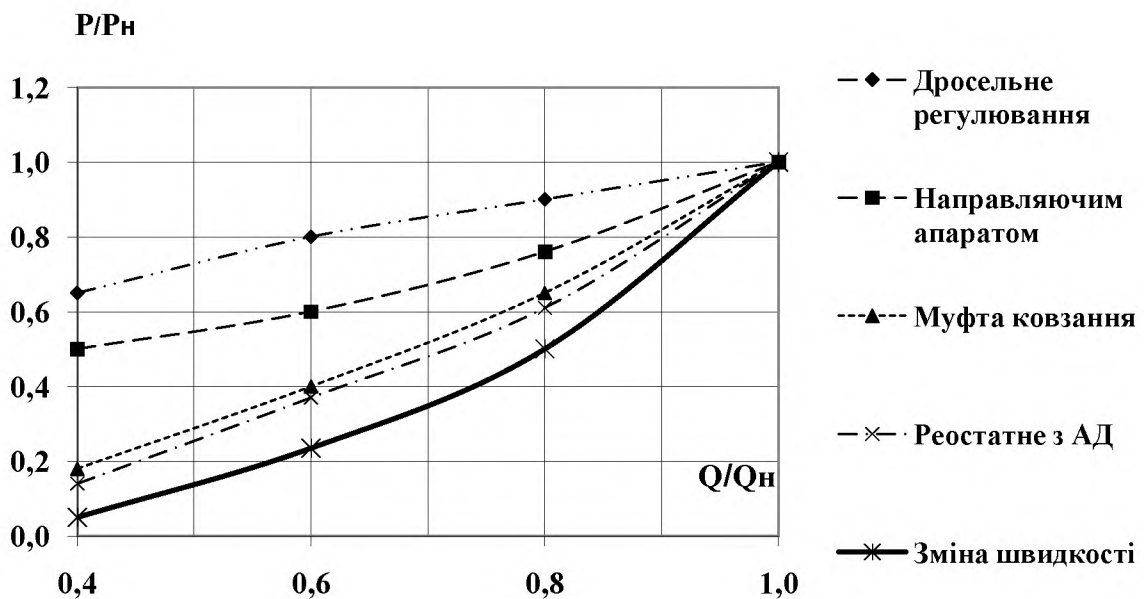


Рис. 1.1. Економічність регулювання вентиляторних установок різними способами

Так при необхідності зміни продуктивності технологічної лінії мають забезпечуватись відповідні умови зміни схеми живлення технологічного обладнання із забезпеченням належної перевантажувальної здатності лінії електропостачання.

Можна зазначити що у якості електричних споживачів насосних установок виступають асинхронні та синхронні електричні двигуни які вносять суттєво вагу у процес зміни балансу між показниками споживання електричної енергії.

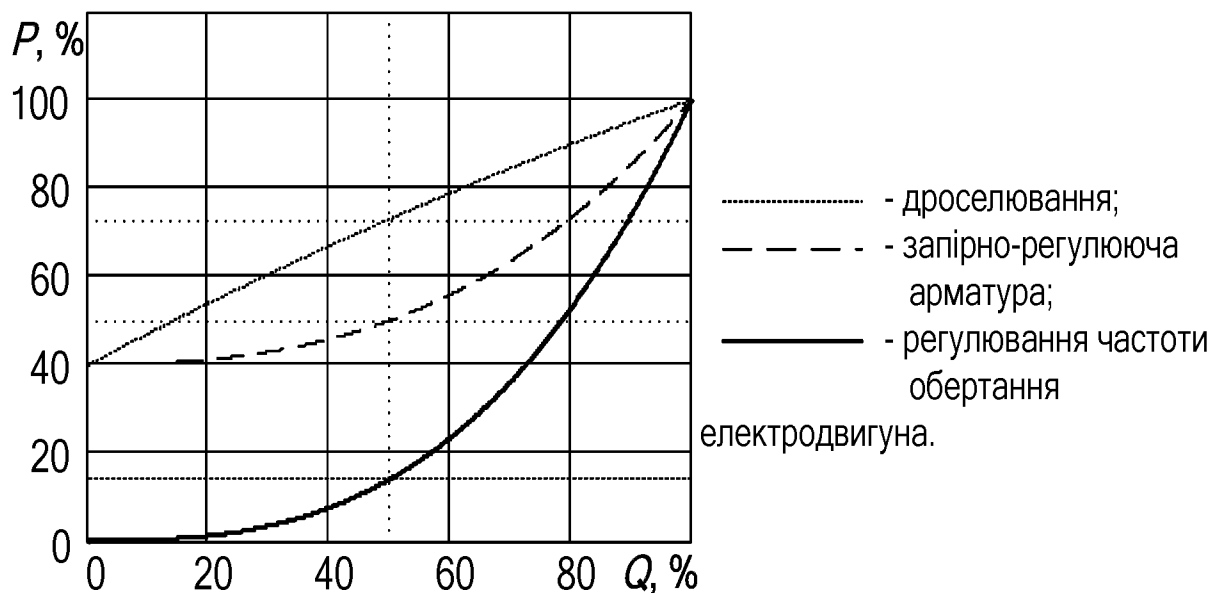


Рис. 1.2. Залежності потужності споживання насосних приводів для трьох принципів керування

Так можна зазначити що зміна балансу між реактивними та активними показниками споживання електричної енергії призводить до суттєвого збільшення втрат електричної енергії у мережі живлення при роботі даного типу електротехнічного обладнання.

Швидкодія процесу споживання електричної енергії електротехнічним обладнанням технологічних ліній висуває необхідність розробки автоматизованих систем контролю показників якості споживання електричної енергії та систем керування енергетичними процесами які мають забезпечити належну якість показників якості споживання електричної енергії та відтворювати безпосередній вплив на технологічному рівні для забезпечення відповідного балансу міжреактивними та активними показниками споживання електричної енергії.

Отже було розглянуто вплив різних чинників на показники якості споживання електричної енергії при зміні режимів роботи електротехнічного обладнання технологічних установок.

1.2. Питання балансу складових електричної потужності

Розглянемо питання балансу складових електричної потужності які виникають з огляду минулого матеріалу.

Зазначимо що на формування балансу між реактивною та активною потужністю суттєво впливають сумарні результати впливу що можуть бути визначені зміною електричних та магнітних полів які виникають в осередді електричного навантаження а також впливають на процеси перетворення електричної енергії в інші її види.

Найчастіше подібний процес може бути охарактеризований інтегральними складовими мережі живлення які будуть описувати фізичні властивості базисних елементів електричної мережі які входять до лінійних або нелінійних електричних навантаженнях та мають розосередженість за своїми параметрами.

Баланс електричної енергії між її складовими можна визначити за математичними формулами як і базуються на законі збереження енергії.

$$\sum_{q=1}^G U_q \dot{Q}_q = 0, \quad (1.1)$$

Такий підхід дозволяє зробити оцінку миттєвих значень складових повної потужності у структурі електроенергетичної системи.

Подібний процес можна розглянути на прикладі промислової електроенергетичної системи яка забезпечує промисловий об'єкт технологічної лінії.

Подібні елементи що складаються з лінійних а також нелінійних елементів викликають виникнення проявів несоїдальності з боку електричних приймачів що впливають на режими роботи мережі живлення.

$$\sum_{s=1}^S U_s \overleftrightarrow{I}_s = \sum_{q=1}^G U_q \overleftrightarrow{I}_q, \quad (1.2)$$

По цьому випадку прибігають до розкладу первинних функцій на гармонійні складові що входять до складу інтегральних виразів.

На практиці застосування великої кількості інтегральних рівнянь викликає суттєвий складнощі щодо достовірності та швидкості визначення складових що розраховуються.

Це ускладнює опис енергетичних процесів як з боку електричної мережі живлення так і з боку електричних приймачів.

$$S \overleftrightarrow{I} = \overline{P}_a + \tilde{P}_a \overleftrightarrow{I} + Q \overleftrightarrow{I} + P_c \overleftrightarrow{I}, \quad (1.3)$$

1.3. Вплив на величину втрат електричної енергії показників якості споживання електричної енергії

Технологічні лінії промислових підприємств живляться від розгалуженої мережі живлення яка має у своєму складі лінії електричних передач трансформатори реактори електричні апарати та інше обладнання.

При цьому у кожному з перелічених видів обладнання виникають втрати електричної енергії які можуть бути суттєво зменшені якщо система електропостачання промислового об'єкта має збалансований показник між споживанням активної та реактивної складової потужності.

Суттєво впливає на величину втрат електричної енергії відповідність показників якості споживання електричної енергії їх нормованим значенням.

$$\Delta P = m \cdot R_{\Sigma} \cdot I_a^2 + m \cdot R_{\Sigma} \cdot I_p^2, \quad (1.4)$$

Факт відхилення значень показників якості споживання електричної енергії від нормованих призводить до виникнення додаткових втрат у елементах електроенергетичної системи а також негативно впливає на надійність роботи електротехнічного обладнання технологічних об'єктів.

$$I_p^2 = I_s^2 + I_n^2 + I_{np}^2 + I_c^2, \quad (1.5)$$

Наявність коливань напруги живлення а також виникнення проявів несинусоїдальності у формах кривих струму та напруги а також

різнозавантаженість у системах електропостачання призводить до суттєвого зниження показників якості споживання електричної енергії що у свою чергу впливає на збільшення втрат у процесі розподілу електричного навантаження.

$$I_p^2 = I_s^2 + I_c^2. (1.6)$$

РОЗДІЛ 2. Розробка алгоритмів ефективного керування енергетичним обладнанням з турбомеханізмами

2.1. Енергетичні характеристики електричних систем з турбомеханізмами

Вентиляторні та насосні установки можна об'єднати у один клас механізмів з типічною навантажувальною діаграмою які прийнято характеризувати з умови роботи електричного навантаження яке має спільний характер.

На долю цих споживачів приходить значна частина електричної енергії у межах промислових підприємств.

Тому зміна продуктивності цих установок суттєво впливає на процес споживання електричної енергії усім технологічним об'єктом або промисловою установкою.

$$P_{\Sigma} = P_{dn} \left(1 + \frac{\rho_{1\min}}{K_{1П}^2} \right) = \frac{P_M}{\eta_2 \cdot \eta_H} \left(1 + \frac{\rho_{1\min}}{K_{1П}^2} \right), \quad (2.1)$$

Для підвищення ефективності споживання електричної енергії об'єктами з турбореактивним характером зміни електричного навантаження впроваджується безліч інноваційних підходів та розробляється велика кількість схематичних рішень щодо вдосконалення процесу регулювання продуктивності та раціонального споживання електричної енергії.

$$\eta_p = \frac{\eta_2 \cdot \eta_H}{1 + \frac{\rho_{1\min}}{K_{1II}^2}}, \quad (2.2)$$

Але застосування сучасних підходів щодо вирішення впровадження ефективних засобів регулювання продуктивності технологічних установок турбокомпресорів має супроводжуватись із розробкою заходів щодо підвищення рівню показників якості споживання електричної енергії.

$$P_M = M_n \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 \cdot \omega = P_n \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^3, \quad (2.3)$$

Оскільки сучасні електротехнічні системи з наявним двох або більшим ланковим контуром перетворенням параметрів електричної енергії викликає забруднення електричної мережі живлення гармонійними складовими що суттєво погіршують параметри системи електропостачання та впливають на форму та симетричність напруги живлення.

$$P_{\mathbf{C}} = \frac{P_n \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^3}{\eta_2 \cdot \eta_n} \cdot \left(1 + \frac{\rho_{1\min}}{K_{1II}^2} \right), \quad (2.4)$$

Ці прояви є наслідком незбалансованості між показниками споживання активної та реактивної потужності електричним навантаженням.

$$\overline{P}_\Sigma = K_H \cdot \overline{\omega}^3, \quad (2.5)$$

Складність процесу обчислення активної та реактивної складової потужності у системах живлення електричних приймачів технологічного обладнання насосних установок є наявність необхідності паралельної роботи електричного навантаження потужних приймачів електричної енергії при живленні останніх від одного джерела електричної енергії.

$$\begin{aligned} \overline{P}_{(1)a} &= K_H \cdot \overline{\omega}^3; \\ \overline{Q}_{(1)} &= K_H \cdot \overline{\omega}^3 \cdot \operatorname{tg} \alpha, \end{aligned} \quad (2.6)$$

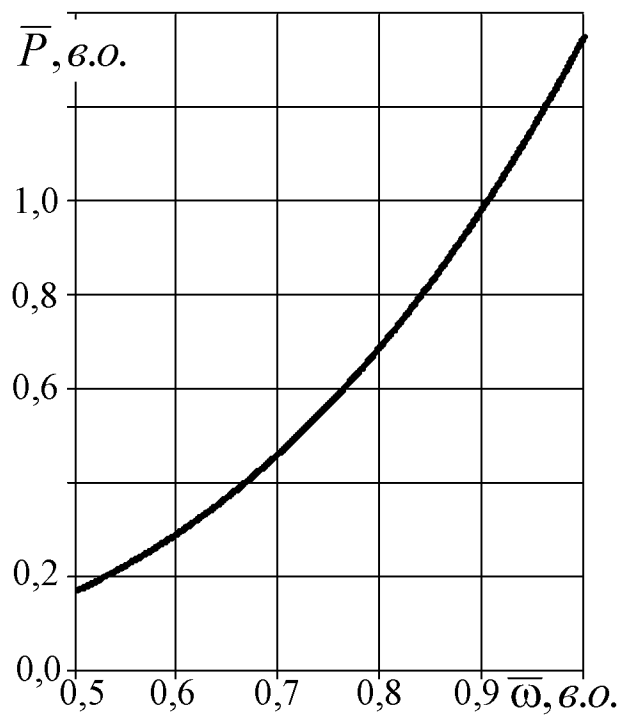


Рис. 2.1. Залежності відносної активної потужності турбомеханізму від відносної швидкості

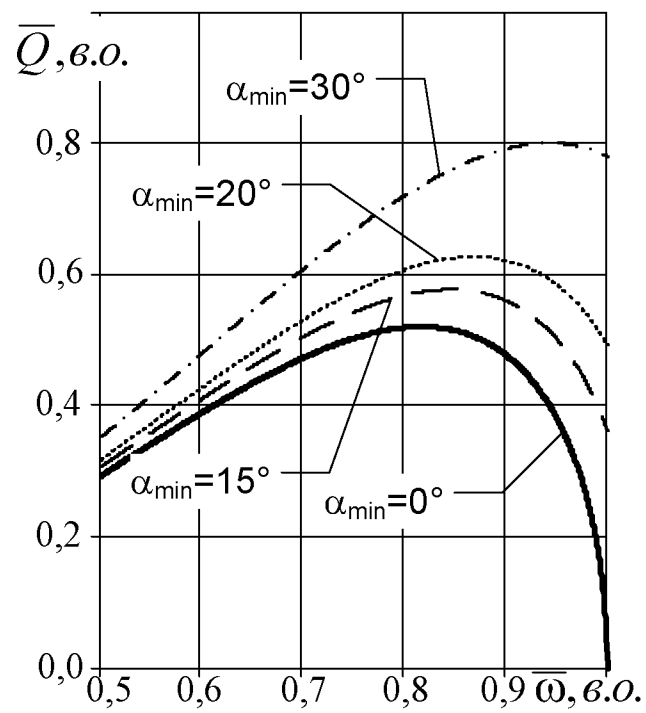


Рис. 2.2. Залежності відносної реактивної потужності турбомеханізму від відносної швидкості при симетричному керуванні

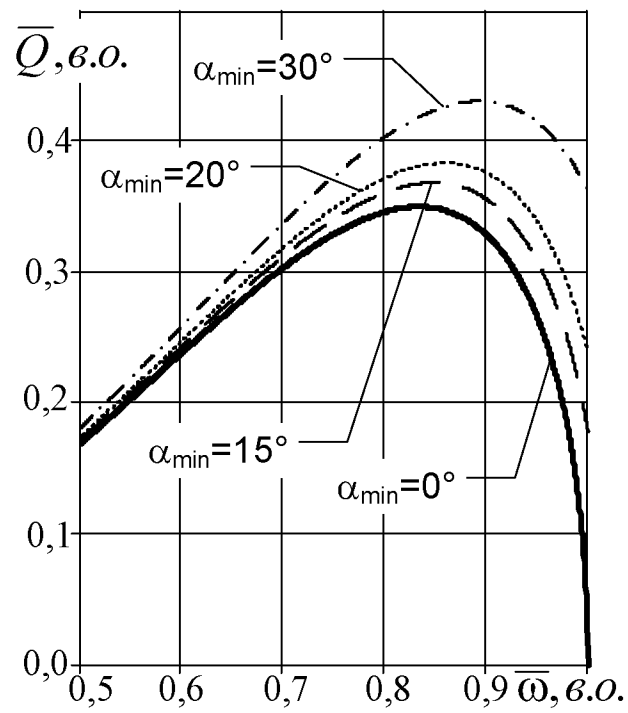


Рис. 2.3. Залежності відносної реактивної потужності турбомеханізму від відносної швидкості при несиметричному керуванні

2.2. Обґрунтування методу аналізу енергетичних характеристик енергетичних систем з турбомеханізмами

Складність визначення гармонійних складових первинних струмів в мережі живлення означена наявністю лише первинних складових діючого значення струму тому може бути визначена з умови аналітичного наближення до первинного діючого значення із застосуванням інтегрованої складової.

$$\left. \begin{aligned} I_{(1)\alpha\Sigma} &= \frac{1}{3} \left[\left(\sum_{k=1}^P I_{(k)A\Sigma}^2 \right)^{\frac{1}{2}} + a \left(\sum_{k=1}^P I_{(k)B\Sigma}^2 \right)^{\frac{1}{2}} + a^2 \left(\sum_{k=1}^P I_{(k)C\Sigma}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]; \\ I_{(1)b\Sigma} &= \frac{1}{3} \left[\left(\sum_{k=1}^P I_{(k)A\Sigma}^2 \right)^{\frac{1}{2}} + a^2 \left(\sum_{k=1}^P I_{(k)B\Sigma}^2 \right)^{\frac{1}{2}} + a \left(\sum_{k=1}^P I_{(k)C\Sigma}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]; \\ I_{(1)0\Sigma} &= \frac{1}{3} \left(\sum_{k=1}^P I_{(k)N\Sigma}^2 \right)^{\frac{1}{2}}; \\ a &= e^{\frac{j2\pi}{3}} \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

2.3. Розробка алгоритмів вирішення питання підвищення ефективності споживання електричної енергії об'єктів живлення турбомеханізмів

При розробці алгоритмів вирішення питання підвищення ефективності споживання електричної енергії об'єктами живлення слід використовувати математичні вирази коефіцієнтів ряду Фур'є які слід використовувати для розрахунків індивідуального навантаження еквівалентних перетворювальних установок.

$$\left. \begin{aligned} A_{(k)i} &= \frac{2}{\pi} \sum_{\ell=1}^L A_{\ell} \int_{\alpha'_{\ell}}^{\alpha''_{\ell}} \cos k \cdot \omega t \cdot d\omega t = \frac{2}{\pi k} \sum_{\ell=1}^L A_{\ell} (\sin k \alpha''_{\ell} - \sin k \alpha'_{\ell}) = \\ &= \frac{4}{\pi k} \sum_{\ell=1}^L A_{\ell} \sin k \frac{\alpha''_{\ell} - \alpha'_{\ell}}{2} \cos \frac{\alpha''_{\ell} + \alpha'_{\ell}}{2}; \\ B_{(k)i} &= \frac{2}{\pi} \sum_{\ell=1}^L A_{\ell} \int_{\alpha'_{\ell}}^{\alpha''_{\ell}} \sin k \cdot \omega t \cdot d\omega t = -\frac{2}{\pi k} \sum_{\ell=1}^L A_{\ell} (\cos k \alpha''_{\ell} - \cos k \alpha'_{\ell}) = \\ &= -\frac{4}{\pi k} \sum_{\ell=1}^L A_{\ell} \sin k \frac{\alpha''_{\ell} - \alpha'_{\ell}}{2} \sin \frac{\alpha''_{\ell} + \alpha'_{\ell}}{2}, \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

Параметри індивідуальних перетворювальних установок можуть бути визначені при застосуванні підходу щодо виокремлення постійної та безперервної складової періодичної функції яка утворюється на основі різних рівнянь між коефіцієнтами ряду.

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n A_{(k)i} &= \frac{4}{\pi k} \sum_{i=1}^n \sum_{\ell=1}^L A_{i\ell} \sin\left(\frac{k\tau_{i\ell}}{2}\right) \cos k\alpha_{i\ell}; \\ \sum_{i=1}^n B_{(k)i} &= -\frac{4}{\pi k} \sum_{i=1}^n \sum_{\ell=1}^L A_{i\ell} \sin\left(\frac{k\tau_{i\ell}}{2}\right) \sin k\alpha_{i\ell}. \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

Періодичні функції кожної з індивідуальних перетворювальних установок єднаються у загальну функцію визначення зв'язку між структурами симетричних навантажень у межах конкретної частини схеми мережі живлення.

$$\left. \begin{aligned} P_{(1)\alpha\Sigma} &= \sum_{i=1}^n P_{(1)\alpha i} = \frac{P_{d\delta}}{n} \sum_{i=1}^n \cos \alpha_i; \\ Q_{(1)\Sigma} &= \sum_{i=1}^n Q_{(1)i} = \frac{P_{d\delta}}{n} \sum_{i=1}^n \sin \alpha_i, \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

Слід зазначити що для спрощення розрахунків у зазначеному випадку енергетичні графіки які характеризують вирази для кожної з індивідуальних перетворювальних установ наводяться у наближеній до синусоїдальної формі.

Тоді коефіцієнти ряду Фур'є можуть бути частково визначені за амплітудою та тривалістю імпульсів.

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^N A_{(k)i} &= \frac{4}{\pi k} \sum_{j=1}^N A_{(k)j} \sin\left(\frac{k\tau_j}{2}\right) \cos k\alpha_j; \\ \sum_{j=1}^N B_{(k)i} &= -\frac{4}{\pi k} \sum_{j=1}^N A_{(k)j} \sin\left(\frac{k\tau_j}{2}\right) \sin k\alpha_j. \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

На основі розрахунків коефіцієнтів ряду Фур'є формуються вирази для визначення складових балансу повної потужності та ідентифікації відповідних енергетичних режимів за основним принципом адитивності індивідуальних складових потужності для кожного з окремих перетворювальних пристроїв.

Особливий інтерес при такому підході визиває можливість поетапної компенсації складових реактивної потужності у окремих ланках індивідуальних перетворювальних пристроїв.

$$\left. \begin{aligned} P_{(1)\alpha\Sigma} &= \sum_{i=1}^n P_{(1)\alpha i} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi q} \int_0^{2\pi p} i_{Ai}(\omega t) \sqrt{2} U_{2\phi} \sin \omega t \cdot d\omega t; \\ Q_{(1)\Sigma} &= \sum_{i=1}^n Q_{(1)i} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi q} \int_0^{2\pi p} i_{Ai}(\omega t) \sqrt{2} U_{2\phi} \frac{d(\sin \omega t)}{d\omega t} d\omega t. \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

РОЗДІЛ 3. Компенсація реактивної потужності у електричних системах енергетичного обладнання з турбомеханізмами

3.1. Дослідження енергетичних режимів на прикладі обладнання ПС КРЗ-22 ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг»

Отже з перелічених вище матеріалів можна зазначити що підвищення показників якості споживання електричної енергії електроенергетичних систем з механізмами з турбореактивним навантаженням може бути здійснено за умови дотримання балансу між споживанням активної та реактивної потужності.

Подібний процес може бути забезпечений при використанні систем плавного пуску або систем параметричного керування продуктивністю технологічної установки.

Слід зазначити що при мінімізації реактивної складової потужності при використанні компенсаційного підходу до індивідуальних установок живлення насосних агрегатів може бути забезпечена відсутність циркулювання реактивних складових потужності та суттєве зниження втрат як у окремих ланках перетворювальних пристроїв так й загалом з боку системи електропостачання електроенергетичного об'єкту.

Відповідно до запропонованої методики щодо зниження втрат у системах електропостачання потужних насосних установок слід розробити алгоритми ефективного енергоспоживання при залученні компенсаційних властивостей електротехнічного обладнання яке використовується.

Задача оптимізації та вибору схеми й способу керування пристроями зовнішньої компенсації а також місця їх приєднання до електричної мережі що живить насосні установки слід математично обґрунтовувати як функцію мінімізації електричних втрат.

Проведений аналіз існуючого об'єкту щодо можливості забезпечити споживання або регулюванням реактивної потужності у структурі електроенергетичного комплексу має базуватись на визначенні мінімальної складової споживання реактивної потужності внаслідок чого відбувається мінімізація втрат електричної енергії у мережі живлення подібних об'єктів.

До таких об'єктів можна віднести синхронні машини які є безпосередніми структурами що дозволяють регулювати та керувати споживанням реактивної потужності а також перетворювальні установки що живлять різнотипне електричне обладнання та у залежності від режиму роботи також можуть виступати у ролі регуляторів та керуючих елементів процесом компенсації реактивної складової потужності.

3.2. Питання балансу електричної потужності енергетичних режимів на прикладі обладнання ПС КРЗ-22 ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг»

Компенсація складової реактивної потужності має бути визначена балансом між складовими повної потужності.

Для чого можуть бути застосовані як традиційні способи компенсації реактивної потужності за допомогою синхронних двигунів та статичних конденсаторних установок, такі способи що базуються на застосуванні багатофункціональних пристроїв які дозволяють використовувати ефект резонансу та відносяться до фільтраційного обладнання.

Показником процесу якості компенсації реактивної складової потужності може бути зниженням рівня гармонійних складових сигналів струму та напруги в мережі живлення.

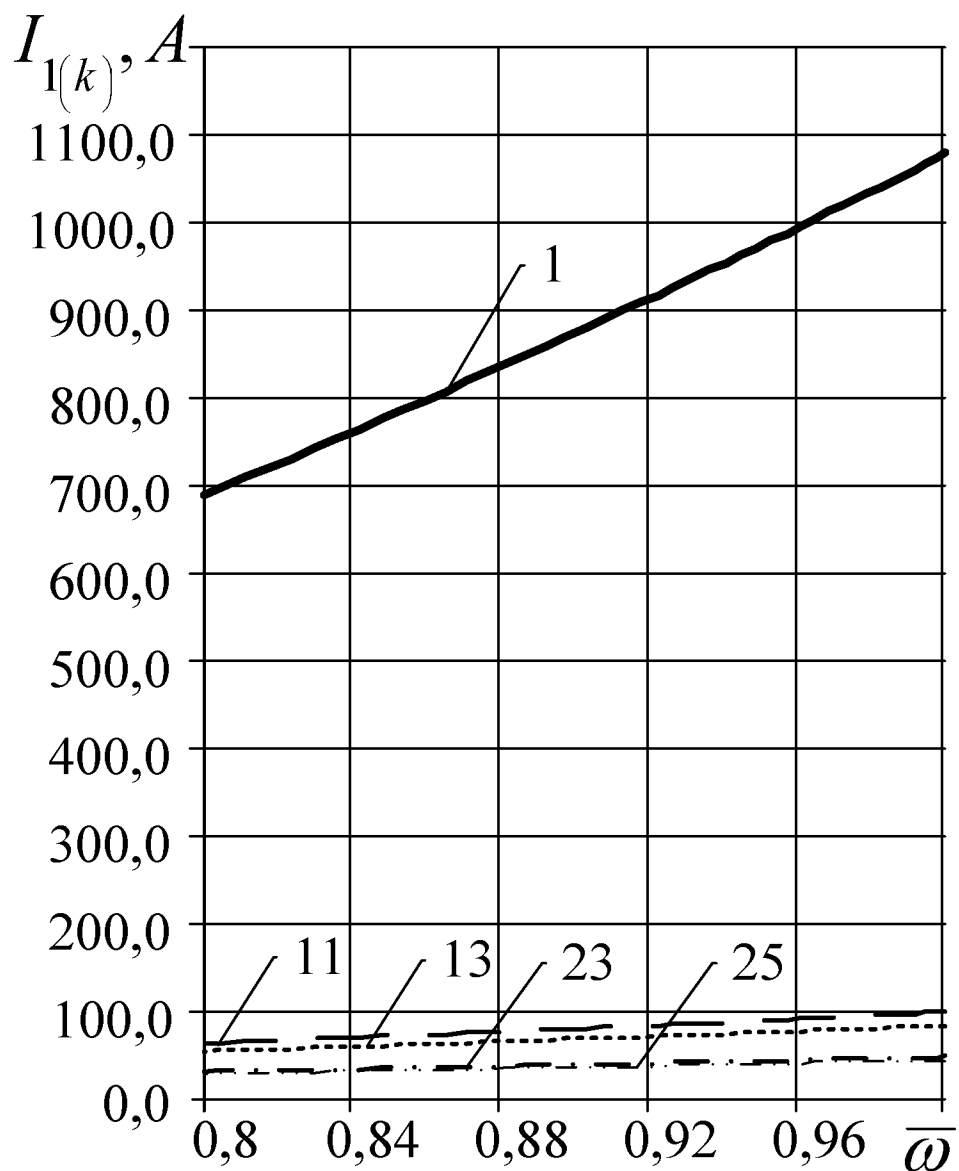


Рис. 3.2. Діючі значення гармонік первинного струму перетворювача

Доволі ефективним методом компенсації реактивних складових повної потужності є метод заснований на використанні спеціальних систем керування потоками та розподілом електричної енергії.

До таких систем можуть бути віднесені перетворювальні установки які допомагають здійснювати регулювання продуктивності технологічних

установок а також впливають на процес споживання електричної енергії з мережі.

3.3. Висновки щодо дослідження енергетичних режимів на прикладі обладнання ПС КРЗ-22 ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг»

Наявність керованих перетворювачів у мережі живлення створює відповідні умови щодо формування енергетичних процесів та проявів цих процесів на режими роботи мережі живлення.

При наявності двох або більше ланок перетворення параметрів електричної енергії має місце ускладнення умов формування енергетичних режимів.

До основних ускладнень можна віднести вплив індуктивного характеру навантаження на показники якості споживання електричної енергії та формування первинних струмів та напруги.

Так при розгляді подібних систем слід переходити від неперервних до частково неперервних функцій.

Слід зазначити що доволі ефективними методами розрахунку подібних структур є методи що базуються на можливості порівняння індивідуальних характеристик навантаження у вторинних контурах перетворювальних пристроїв за рівнем пульсації струму оскільки саме цей показник впливає на змінну складову форми струму та рівень електричної рівноваги у мережі живлення.

Для розрахунку балансу електричної потужності невід'ємною складовою також є визначенням зміни напруги в мережі живлення.

При описі математичних рівнянь для визначення змінної складової напруги мережі живлення слід використовувати індивідуальні аналітичні залежності відповідно до кожної схеми перетворювальної установки.

Таким чином кінцевий вибір параметрів мережі живлення у якості індуктивної складової що її складають може бути визначений за рівнем

пульсації напруги там достовірної інформації щодо рівня струму навантаження у визначеному діапазоні режимів роботи електричних приймачів.

Розклад коливань сигналу напруги живлення на гармонійні складові показує їх суттєву залежність від амплітудних та фазних значень на проміжних інтервалах навантаження.

Висновки

Визначення енергетичного балансу при врахуванні схеми живлення та способу керування перетворювальними пристроями а також забезпеченням подібних систем засобами компенсації реактивної складової потужності при врахуванні характеристик електричного навантаження дозволяє суттєво поліпшити показники ефективності енергоспоживання електроенергетичними системами.

Запропонований метод спрощення розрахунків показників якості споживання електричної енергії дозволяє більш дієвими механізмами здійснювати неперервний аналіз у багаторівневій структурі електроенергетичної системи.

Зниження рівню споживання реактивної потужності енергетичною установкою досягається шляхом обмеження зони регулювання первинної ланки перетворювальних пристроїв.

Також для підвищення показників якості споживання електричної енергії може бути використано компенсаційні властивості дво та більше ланкових перетворювальних пристроїв.

У таких пристроях можливо застосовувати різні схеми з'єднання у кожній з перетворювальних ланок а також використовувати різні способи керування кожної з ланок перетворювальної установки. для підвищення показників якості споживання електричної енергії енергоємних об'єктів доцільно також доповнювати запропоновані заходи можливостями зовнішньої компенсації реактивної потужності з використанням компенсаційного ефекту від встановлених статичних конденсаторних установок або синхронних двигунів.

При цьому важливим є аналітичне визначення електромагнітних процесів з розрахунком характеристик та вибором параметрів складових

елементів мережі живлення та контролем форми напруги та струму у кожній з ланок перетворення параметрів електричної енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Щокін А. Р. Взаємозв'язок проблем екології та заходів з енергозбереження – вирішальний чинник сучасного етапу розвитку економіки держави [Електронний ресурс] / Щокін А. Р., Колесник Ю. В. // Інститут відновлюваної енергетики Національної академії наук України: К., 2008. – Режим доступу до джерела: http://www.ive.org.ua/stattya_1.htm.
2. Дупак О. С. Наукове забезпечення розвитку енергетичного комплексу України / Дупак О. С. // Новини енергетики. – 2002. – № 12. – С. 7–9.
3. Енергетична стратегія України на період до 2030 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. № 145-р. [Електронний ресурс] // Кабінет Міністрів України. – К., 2008. – Режим доступу до джерела: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/FIN38530.html.
4. Закон України «Про енергозбереження» від 1 липня 1994 року №74/94-ВР [Електронний ресурс] // Верховна Рада України. – К., 2008. – Режим доступу до джерела: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=74%2F94-%E2%F0>.
5. Від виробництва до ефективного споживання енергії: посіб. для вчителів / О. І. Соловей, А. В. Праховник, Є. М. Іншеков, Г. М. Васильченко, А. Є. Конеченков, В. І. Дешко // ред. А. В. Праховник. – К.: Київ. нот. ф-ка, 1999. – 400 с. (Енергозбереження; Кн. 2).
6. Ковалко М.П. Особливості формування енергозберігаючої політики в Україні / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк. – К.: Держкоменергозбереження України, 1996. – 72 с.

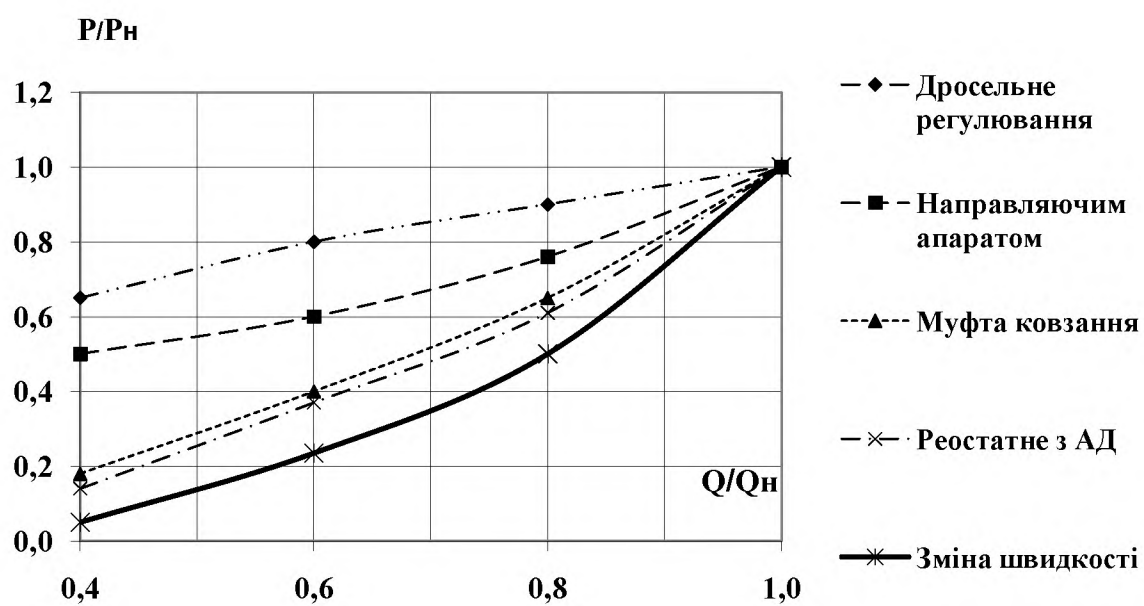
7. Гнідий М.В. Методи визначення обсягів енергозбереження на рівні економіки, галузі та виробництв на довгостроковий період / М.В. Гнідий, Т.П. Агєєва // Проблеми загальної енергетики. – 2005. – №16. – С. 12-16.

8. Закон України “Про енергозбереження” від 01 липня 1994 р. №74/94-ВР // Відомості Верховної Ради України. – 1994. – № 30. – с. 283.

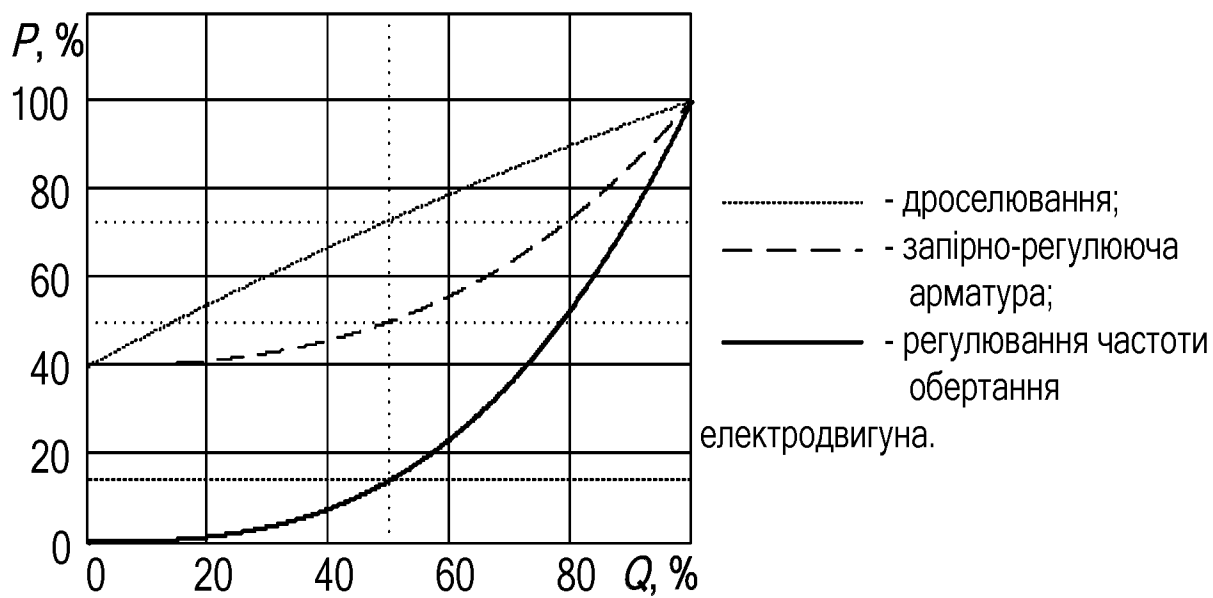
9. Праховник А.В. Закладний О.О., Закладний О.М. Засоби діагностичного аудиту енергоефективності як елемент побудови системи енергоменеджменту // Енергетика: економіка, технології, екологія, 2013. – №2. – С. 44-50.

ДОДАТКИ

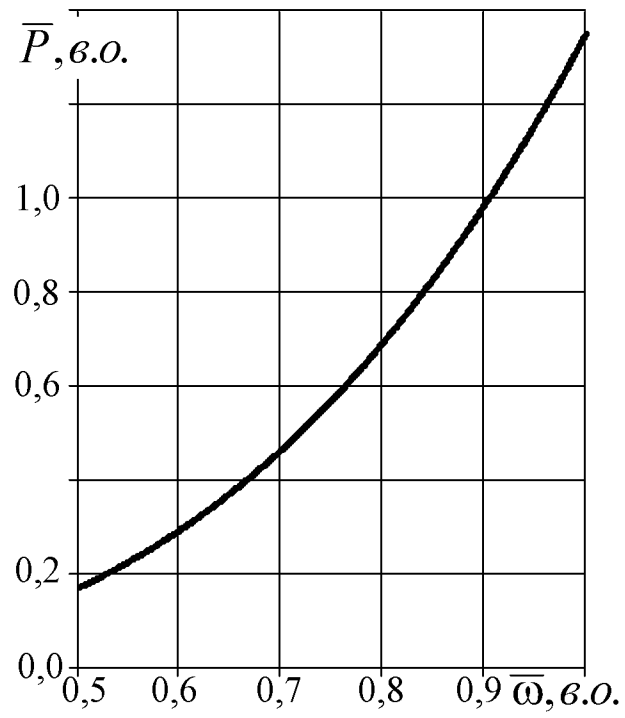
Економічність регулювання вентиляторних установок різними способами



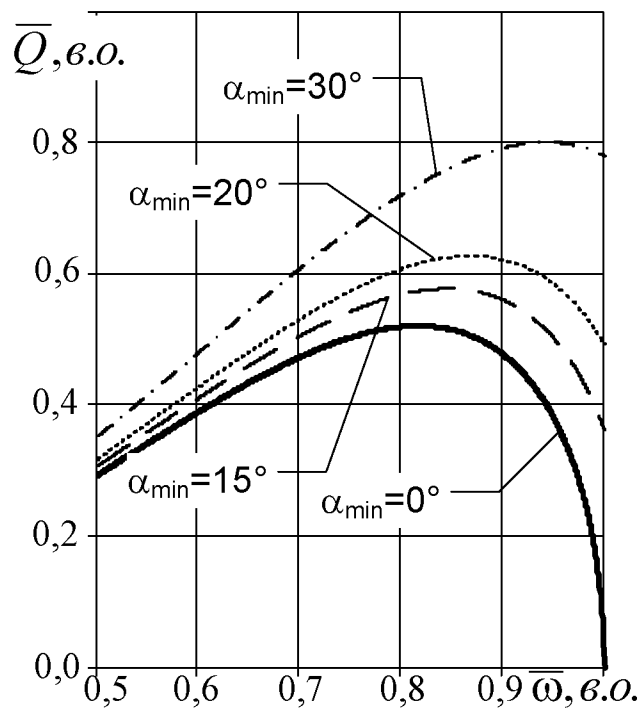
Залежності потужності споживання насосних приводів для трьох
принципів керування



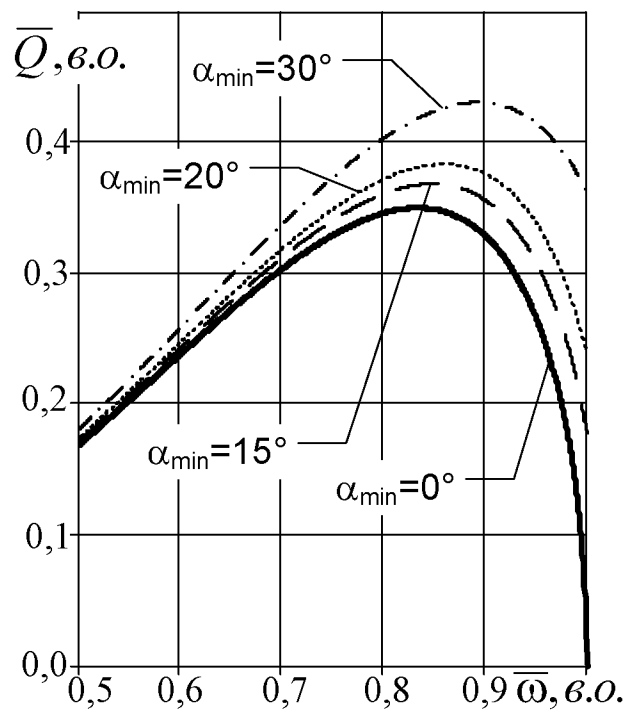
Залежності відносної активної потужності турбомеханізму від
відносної швидкості

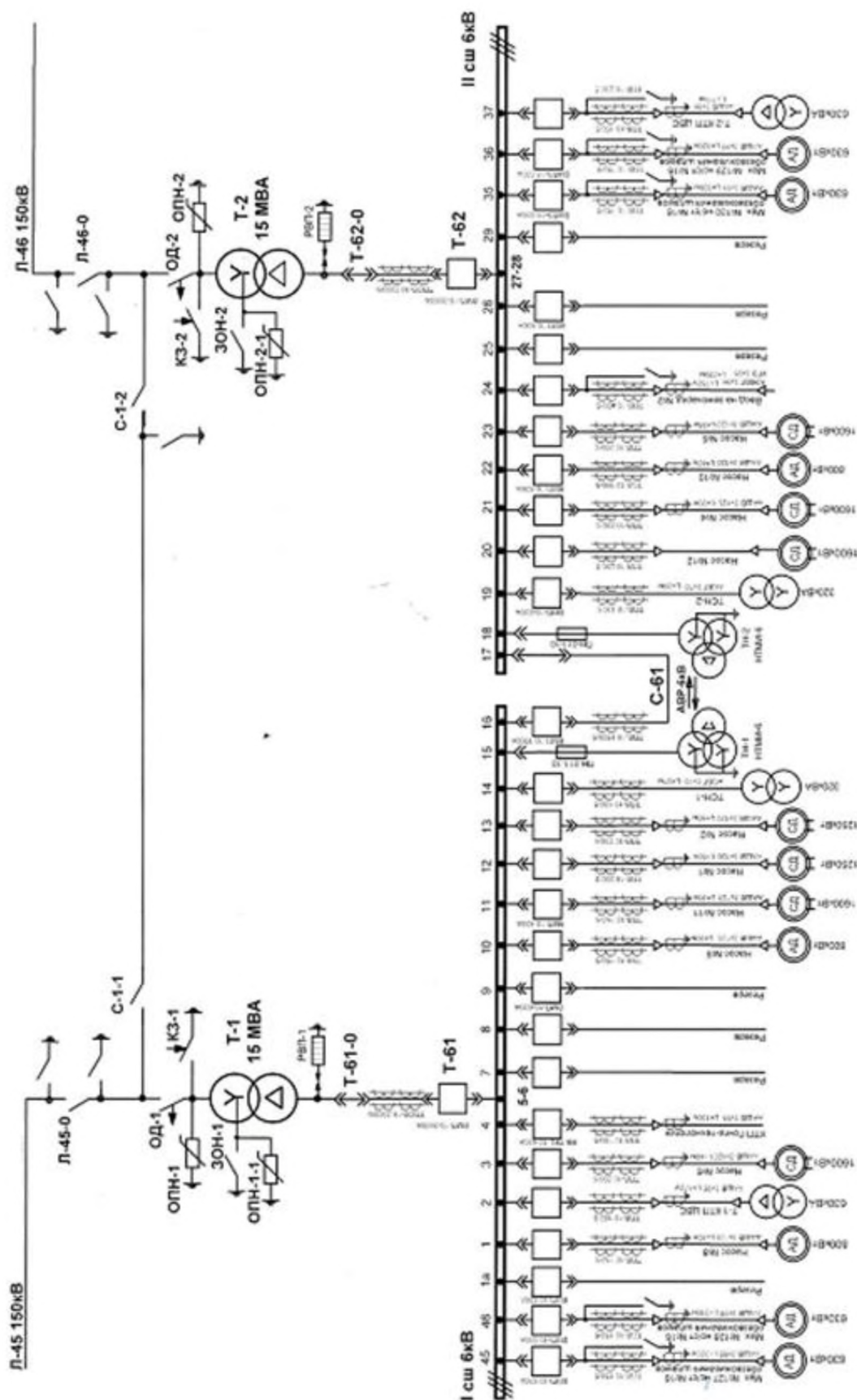


Залежності відносної реактивної потужності турбомеханізму від відносної швидкості при симетричному керуванні



Залежності відносної реактивної потужності турбомеханізму від відносної швидкості при несиметричному керуванні





Діючі значення гармонік первинного струму перетворювача

