

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ПРИВОДУ НАТИСКУ КАР’ЄРНОГО ЕКСКАВАТОРА ЕКГ-10

© Мороз В., Олексів І., Цяпа В., Сивякова Г., 2015

Розглянуто уточнену модель електроприводу натиску кар’єрного екскаватора ЕКГ-10 з урахуванням особливостей системи керування з тиристорним збудником генератора типу БУТВ, за допомогою якої досліджено перехідні процеси приводу натиску в пуско-гальмівних режимах.

Ключові слова: *екскаваторний електропривод, комп’ютерне моделювання, тиристорний збудник, Simulink, SimPowerSystem.*

The improved model of the crowd electric drive of the mining shovel EKG-10 with thyristor exciter of generator type BUTV capabilities presented in this article for the research of transients in the starting and stopped modes.

Key words: *computer simulation, mining excavators' electric drive, Simulink, SimPowerSystem, thyristor exciter.*

Постановка проблеми

Кар’єрні екскаватори виконують основну роботу на відкритих гірничих розробках з видобутку корисних копалин і, зазвичай, у них використано електричний привод. Привод натиску є найбільш швидкодіючим з огляду на вимоги до механізмів копання кар’єрних екскаваторів внаслідок жорсткого з’єднання виконавчого механізму з двигуном. Потрібно також враховувати, що електрообладнання екскаватора працює в дуже важких умовах ударів, вібрацій, великої заповишеності, широкого діапазону температур, а для приводу натиску внаслідок технологічних особливостей роботи екскаватора властиві інтенсивні пуско-гальмівні режими з великою частотою вмикань. Дослідження динамічних процесів у приводі натиску внаслідок складності електромеханічних процесів через наявність багатьох сталих часу в наймасовішому сьогодні в Україні екскаваторному електроприводі за системою Г-Д і нелінійностей, зокрема динамічної нелінійності тиристорного збудника з роздільним керуванням, є достатньо проблемним і без комп’ютерної техніки практично неможливим.

Комп’ютерне моделювання дає змогу з’ясувати на окремі питання, які виникають під час експлуатації екскаваторів, зокрема, під час налагодження їх електроприводів. Одну з невирішених проблем налагодження екскаваторних електроприводів повідомив працівникам кафедри електроприводу Львівської політехніки її випускник – випадкове спрацювання струмового захисту приводу натиску низки кар’єрних екскаваторів ЕКГ-10 з блоком тиристорного збудника генератора (ТЗГ) типу БУТВ і генераторами постійного струму 4ГПЭМ-125. Пошук шляхів вирішення цієї проблеми було здійснено з використанням комп’ютерного моделювання.

Аналіз останніх досліджень

Проблема аналізу динаміки електроприводів кар’єрних екскаваторів на основі імітаційних моделей з використанням засобів SimPowerSystem популярного математичного застосунку MATLAB+Simulink розглянута в роботах [1, 2]. Використання бібліотеки SimPowerSystems

середовища імітаційного моделювання MATLAB + Simulink [3] дає змогу спростити навіть невідготовленому користувачу процес дослідження доволі складної керованої електромеханічної системи без видимого процесу складання математичного опису досліджуваної системи. Потрібно відзначити, що комп'ютерне моделювання екскаваторних електроприводів постійного струму нині практично втратило актуальність через переважний перехід виробників на системи змінного струму (наприклад, [4, 5]). Проте діючий склад кар'єрних екскаваторів України та країн СНД до цього часу практично увесь обладнаний електроприводами постійного струму за системою генератор-двигун (Г-Д).

Починаючи з кінця 1980-х років частина екскаваторного парку (ЭКГ-5А і ЭКГ-10И) обладнана тиристорними збудниками генераторів типу БУТВ, які розробили науковці кафедри електроприводу Львівської політехніки [6, 7]. Перевагами цих тиристорних збудників є простота і виняткова надійність, проте застосована силова схема [8] має такий недолік, як великий кут комутації, що відчутно знижує вихідну напругу збудника в номінальному режимі. Математично описано процеси у збуднику БУТВ у роботах [9, 10].

Задача досліджень

Задачею досліджень є створення уточненої з погляду відтворення динаміки приводу комп'ютерної моделі та аналіз на її основі динамічних властивостей електроприводу натиску екскаватора ЕКГ-10 з врахуванням нелінійностей блока тиристорного збудника БУТВ.

Виклад основного матеріалу

Дослідження динаміки електроприводів кар'єрних екскаваторів, які проводили на кафедрі електроприводу Львівської політехніки, показали, що традиційні спрощені моделі елементів автоматизованих електроприводів [11] не забезпечують відтворення реальних динамічних характеристик електроприводів екскаваторів внаслідок складності цих систем – нелінійності системи керування, тиристорного збудника і генератора, високий, вище від п'ятого (порівняно з традиційними спрощеними моделями), порядок системи диференціальних рівнянь, які описують модель і враховують наявні інерційності об'єкта.

Функціональна схема електроприводу натиску екскаватора ЕКГ-10 [7] показана на рис. 1, де крім кіл збудження приводних двигунів показано коло перемикачів на привід ходу екскаватора.

Спростити процес моделювання нелінійної системи електроприводу натиску можна використанням засобів автоматизації процесу моделювання, а саме – засобом імітаційного моделювання Simulink застосунку MATLAB з додатковою бібліотекою SimPowerSystems. Переваги цього способу аналізу динаміки електромеханічних систем відомі та неодноразово висвітлені у відповідній літературі, а використання бібліотеки SimPowerSystems дало змогу спростити та унаочнити процес створення моделі електроприводу.

Потрібно відзначити, що моделі бібліотеки SimPowerSystems забезпечують базовий рівень відтворення динамічних властивостей електромеханічних систем. Наприклад, модель машини постійного струму не враховує такі фактори, як наявність контуру вихрових струмів і нелінійності характеристики намагнічування. Для усунення цього недоліку стандартної моделі пропонується заміна RL-ланки кола збудження стандартною моделлю двохобмоткового трансформатора з насиченням магнітної системи. При цьому вторинна обмотка призначена для імітації контуру вихрових струмів. Приклад створеної моделі показано на рис. 2, а графік вихідної напруги обох моделей генератора у випадку подання напруги збудження та її реверсу показано на рис. 3.

Одним з основних дослідів під час налагоджування електроприводу екскаватора є дослід короткого замикання, під час якого вимикають струм обмотки збудження двигуна, а на його вал накладають гальма. Схема та результати комп'ютерних експериментів з проведення дослідів короткого замикання показано на рис. 4 і 5. Для імітації накладання гальм сумарний момент інерції приводу збільшено в 10^6 раз, а напруга збудження двигуна встановлена нульовою.

Для порівняння на рис. 6 показано експериментальні осцилограми дослідів короткого замикання, які зняті на приводі натиску діючого екскаватора ЕКГ-10 (зав. №002, Томусінський розріз, Кемеровська обл., Росія) під час налагодження, здійснювали науковці кафедри електроприводу.

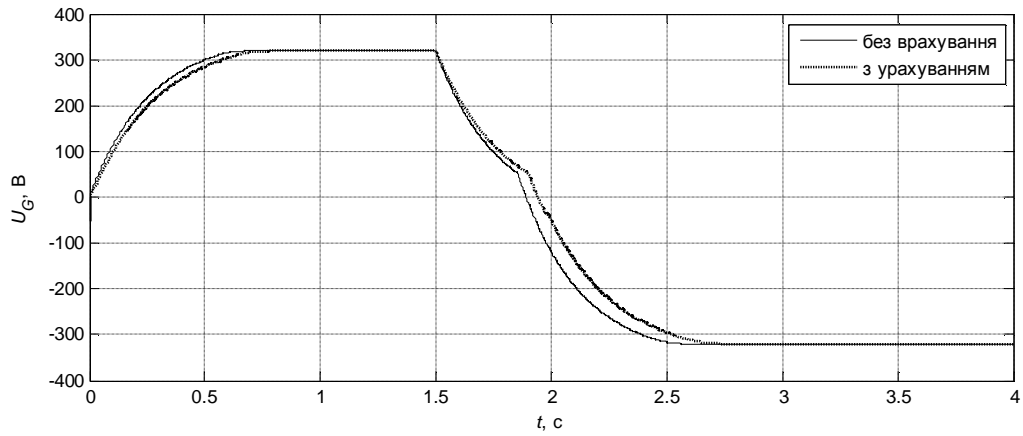


Рис. 3. Режим неробочого ходу для моделей генератора без врахування та з врахуванням вихрових струмів

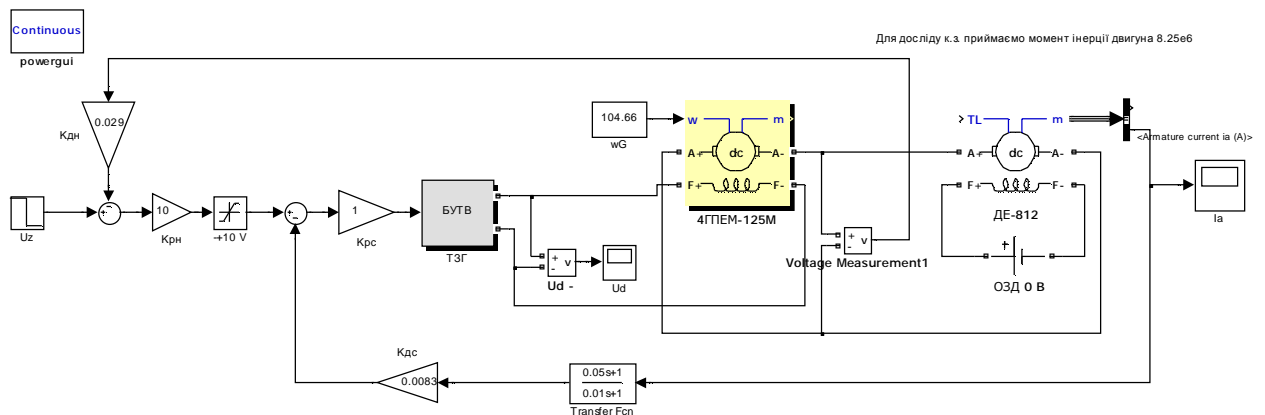


Рис. 4. Модель для проведення дослід короткого замикання електроприводу натиску екскаватора

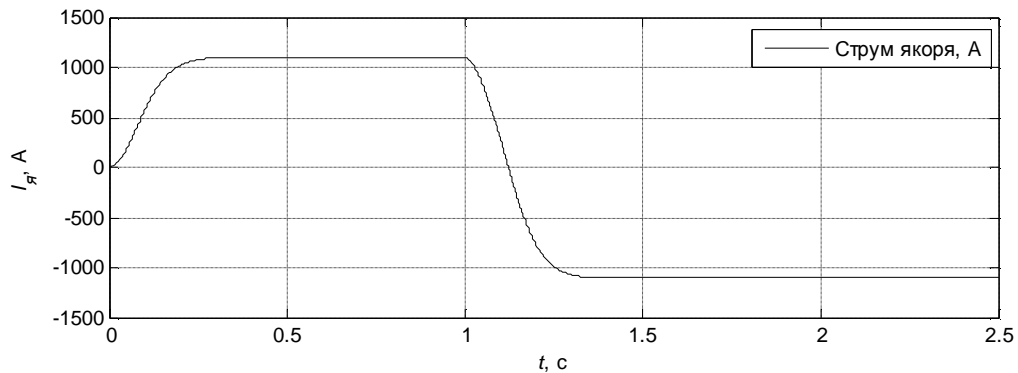


Рис. 5. Результати моделювання дослід короткого замикання приводу натиску екскаватора ЕКГ-10

Іншою особливістю комп'ютерної моделі є уточнена модель блока тиристорного збудника типу БУТВ, яка враховує такі істотні особливості прототипа порівняно з традиційними моделями, які найчастіше подаються лінійною ланкою першого порядку [11]:

- нелінійність регулювальної характеристики;
- врахування спаду напруги від впливу кута комутації, який може досягати 60–70 % від номінальної напруги;
- імітація роботи блока логіки з відтворенням дії режиму інвертування.

Комп'ютерна модель тиристорного збудника БУТВ, яка була використана у дослідженнях, показана на рис. 7.

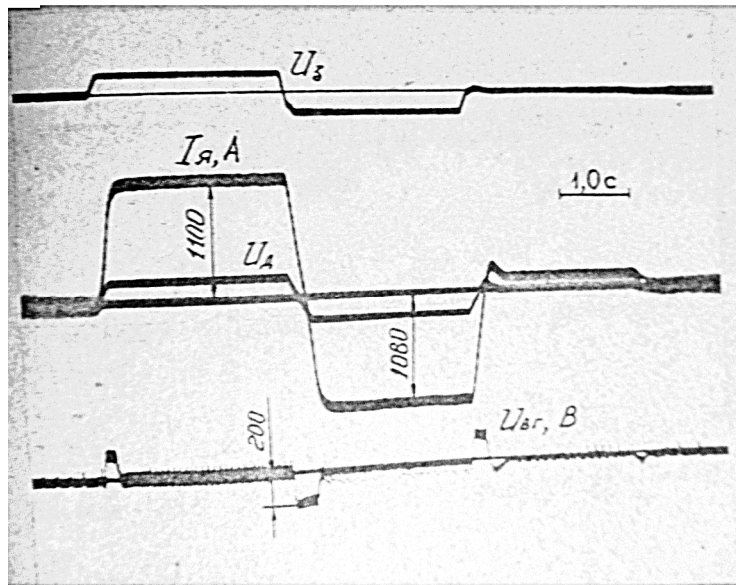


Рис. 6. Осцилограма досліджу короткого замикання на екскаваторі ЭКГ-10

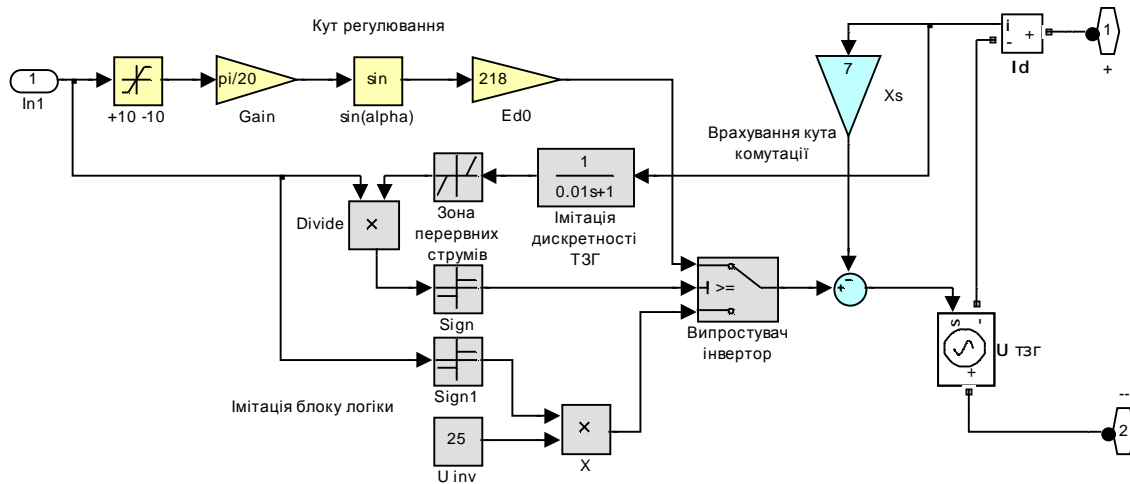


Рис. 7. Структурна модель тиристорного збудника типу БУТВ

Використання такої моделі БУТВ, як показали проведені експерименти, дало змогу дійсно врахувати режим інвертування і комутаційний спадок напруги. У структурі моделі можна виділити три функціональні частини (див. рис. 7):

- імітація регульовальної характеристики (верхня частина моделі);
- врахування спаду комутаційного спаду напруг (праворуч нагорі);
- імітація блока логіки з врахуванням режиму інвертування (у центрі та знизу моделі).

Наступним етапом досліджень було вивчення режимів пуску і реверсу повного приводу. Для дослідження цих режимів було створено комп'ютерну модель, яка показана на рис. 8. Приклад результатів дослідження одного з режимів – пуску до номінальної швидкості, реверсу та накиду навантаження показано на рис. 9 (кутова швидкість у масштабі 10:1 і струм якоря).

Дослідження на комп'ютерній моделі показали, що можливою причиною короточасних (на які не встигає реагувати контрольний амперметр на щиті керування) викидів струму якоря приводу натиску може бути режим "прориву" інвертора ТЗГ внаслідок незадовільних параметрів кола збудження генератора ГПЕМ-125, який має значну індуктивність розсіювання обмотки збудження, і, як наслідок, погані динамічні властивості. Це зумовлено і великою сталою часу ОЗГ, і значним кутом комутації γ , який вимагає встановлення великого кута інвертування β , що сповільнює перебіг перехідних процесів у системі ТЗГ-Г-Д і може спричинити режим "прориву" інвертора.

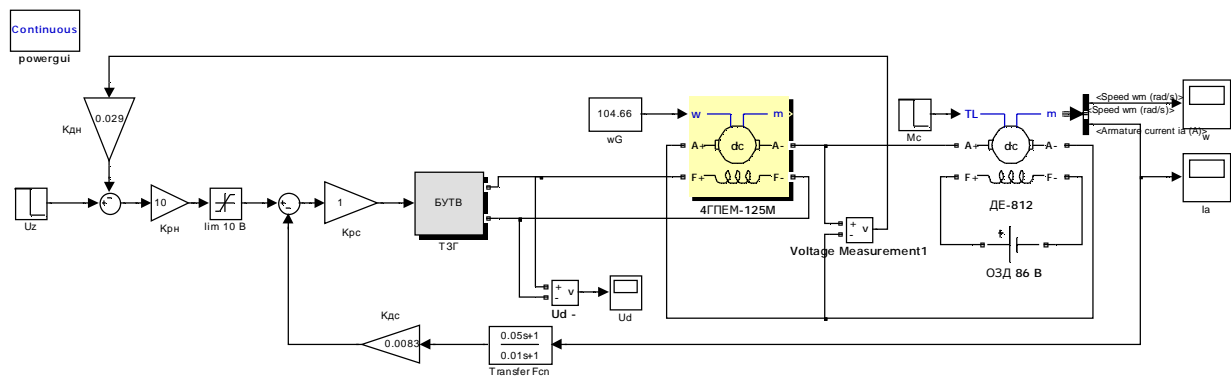


Рис. 8. Комп'ютерна модель для вивчення пуско-гальмівних режимів

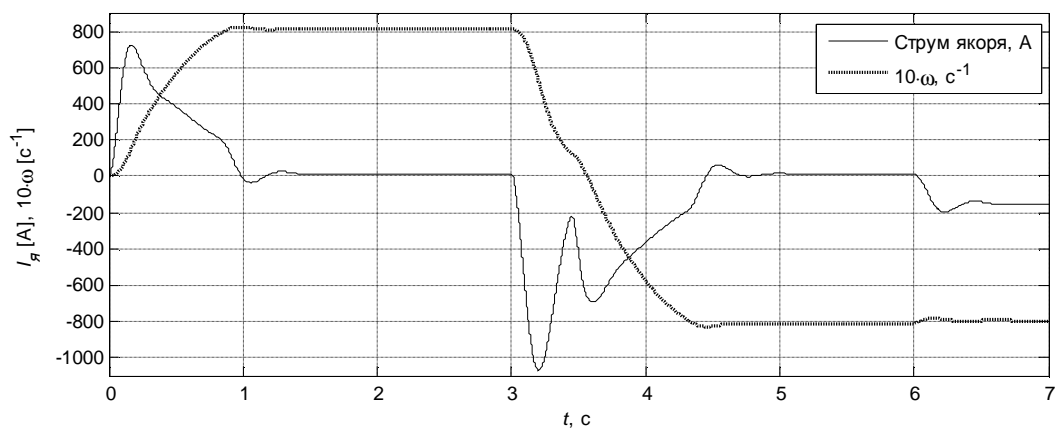


Рис. 9. Кутова швидкість і струм якоря в досліді пуску/реверсу

Висновки

Розроблена комп'ютерна модель електроприводу натиску кар'єрного екскаватора дала змогу проаналізувати його динамічні властивості і висловити припущення про можливу причину викидів струму під час роботи приводу натиску екскаватора ЕКГ-10.

1. Чермалых А. В., Пермяков В. Н., Майданский И. Я. Исследование динамики экскаваторного электропривода с помощью виртуальных моделей // *Електромеханічні системи та автоматизація. Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського*. Вип. 4/2008 (51). Ч. 1. – С. 48–52. 2. Козачек О. В., Сердюк А. А. Система управления электроприводами главных исполнительных механизмов экскаватора ЭКГ-5Н // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. № 2 (33), 2014. – С. 99–104. 3. MATLAB, the language of technical computing, and Simulink, for simulation and Model-Based Design [електронний ресурс]. – [Режим доступу до ресурсу]: <http://www.mathworks.com/> 4. P&H electric rope shovels [електронний ресурс]. – [Режим доступу до ресурсу]: <http://www.joy-global.com/surface-mining/electric-rope-shovels>. 5. Electric Rope Shovels for Mining [електронний ресурс]. – [Режим доступу до ресурсу]: <https://mining.cat.com/products/surface-mining/electric-rope-shovels>. 6. Устройство комплектное низковольтное управления электроприводами с тиристорным возбуждением для карьерного экскаватора ЭКГ-5. Инструкция по наладке электроприводов экскаватора ЭКГ-5 ИЖ-ТП.657112.029-05 ИИ. – 1990. – 240 с. 7. Инструкция по наладке НКУ экскаватора ЭКГ-10 : ИЖТП.657122.032 ТО. – М. : ВНИИЭлектропривод, 1997. – 256 с. 8. А. с. № 62094 СССР. Устройство для питания выпрямленным током цепей намагничивания / Д. И. Марьяновский, заявл. 27.02.1941. 9. Мороз В.І. Моделювання тиристорного збудника типу Б-3801 (БУТВ) генераторів головних приводів кар'єрних екскаваторів з об'ємом ківша до 10м³ / І.М. Кучабський, В.І. Мороз // *Вісник Львів. політехн. ін-ту*. 1992. № 263: Електроенергетичні та електромеханічні системи. – С. 32–34. 10. Мороз В. І. Математична модель електромагнітних

процесів у тиристорному збуднику БУТВ кар'єрних екскаваторів / В. І. Мороз // VII Республіканський семінар "Преобразование и стабилизация параметров электрической энергии". – Алушта, 21–25 вер. 1992, опубл. у зб. наук. пр. Теорія та моделі пристроїв вимірювальної та перетворювальної техніки – Київ, Ін-т електродинаміки АН України, 1993. – С. 39–43. 11. Костинюк Л. Моделювання електроприводів : Навчальний посібник / Л. Костинюк, В. Мороз, Я. Паранчук. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2004. – 404 с.

УДК 621.316.176

А. О. Парфенюк, П. Ф. Гоголюк

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра електропостачання промислових підприємств міст
і сільського господарства

ОПТИМІЗАЦІЯ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРОПОСТАЧАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ІЗ УРАХУВАННЯМ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ

© Парфенюк А. О., Гоголюк П. Ф., 2015

Запропоновано метод визначення кількості, потужності та місць встановлення конденсаторних устав, що враховує режими електроприймачів і дає змогу формалізувати операції вибору типу й режиму компенсації реактивної потужності на стадії проектування електропостачальних систем.

Ключові слова: компенсація реактивної потужності, генетичний алгоритм, електропостачальна система.

The method to determine the number, capacity and location of power capacitors installations considering load profiles of power consumers is proposed. It made it possible to formalize procedures of selection of the type and mode of the reactive power compensation at the design stage of electric power distribution systems.

Key words: reactive power compensation, genetic algorithm, electric power distribution system.

Вступ. Постановка проблеми

Проблема компенсації реактивної потужності (КРП) належить до найвідповідальніших завдань процесу проектування електропостачальних систем (ЕПС) промислових і цивільних об'єктів. Оптимальне вирішення проблеми КРП забезпечує досягнення високих техніко-економічних показників проекту.

Задача КРП на етапі проектування полягає в одночасному виконанні завдань пошуку кількості, потужності та місць встановлення компенсуювальних устав (КУ) [1]. В ЕПС із істотно змінними графіками навантаження електроприймачів (ЕП) додатково необхідно вибирати тип (керована, некерована) та режим (індивідуальна, групова, централізована) компенсації КУ.

З одного боку, необхідно забезпечити якомога більше використання КУ. Так, за незмінного навантаження найвигіднішою буде індивідуальна компенсація, а у разі змінного режиму ЕП – групова чи централізована компенсація. З іншого боку, необхідно прагнути до повного розвантаження ЕПС від потоків реактивної потужності. Це можна забезпечити розташуванням КУ ближче до потужних ЕП. Водночас необхідно вибирати оптимальну кількість ступенів компенсації КУ й оцінювати можливість встановлення некерованих КУ для зменшення капітальних вкладень на їхнє впровадження.