 БІЛЯЄВ Володимир Леонідович

КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ У СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ З НЕСТАЦІОНАРНИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ
(на прикладі системи електропостачання морського порту)

Спеціальність 05.09.03 - "Електротехнічні комплекси та
системи, включаючи їх управління і регулювання"

АВТОРЕФЕРАТ ДИСЕРТАЦІЇ
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



00777409 (У)

Дисертацією є рукопис

роботу виконано на кафедрі електропостачання промислових підприємств та міст Одеського державного політехнічного інституту.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор Фомічов Є. П.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор Жежеленко І. В.,
кандидат технічних наук, ст. н. с. Калінчик В. П.

Провідна організація: Київський інститут "Київпромелектропроект"

Захист відбудеться " 13 " марта 1995 р.
о 15 годині на засіданні спеціалізованої Ради К 01.02.04 при Київському політехнічному інституті за адресою: 252056, м. Київ, проспект Перемоги, 37, корп. 22.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Київського політехнічного інституту.

Автореферат розіслано " 9 " февраль 1995 р.

Вчений секретар
спеціалізованої Ради,
кандидат технічних наук

В. В. Прокопенко

АНОТАЦІЯ

Метод роботи є підвищення ефективності функціонування систем електропостачання промислових підприємств з нестационарними режимами електроспоживання за рахунок оптимізації режимів роботи засобів компенсації реактивної потужності.

Основні завдання роботи:

виконати дослідження характеру змінювання реактивних навантажень на трансформаторних підстанціях (ТП) 6(10) кВ та на головних ділянках магістралей розподільчої мережі промислового підприємства в нестационарними навантаженнями;

розробити методику визначення реактивної потужності для нестационарних навантажень в умовах недостачі інформації;

проаналізувати ефективність регулювання режиму реактивної потужності локальними регуляторами конденсаторних установок (КУ) при використанні різних параметрів (реактивної складаючої струму навантаження, фазового кута, реактивної потужності);

одержати вірогідні дані про спектральний склад струму навантаження з метою захисту вимірювальних органів регуляторів реактивної потужності від вищих гармонік;

відтворити систему управління джерелами реактивної потужності в мережі промислового підприємства, здатну підтримувати задані рівні вхідної реактивної потужності відповідно з вимогами енергосистеми, знизити втрати від передачі реактивної потужності у мережах підприємства.

Основні положення, що виносяться на захист.

1. Результати стохастичного дослідження режимів електроспоживання у вузлах розподільчої мережі 6(10) кВ промислового підприємства з нестационарними електроприймачами.

2. Алгоритм оцінювання на основі теорії нечітких множин (ТНМ) розрахованого значення реактивних навантажень в системах електропостачання промислових об'єктів з нестационарними режимами електроспоживання.

3. Результати досліджень по оцінюванню ефективності управління реактивною потужністю по різних параметрах регулювання за допомогою локальних регуляторів КУ.

4. Результати спектрального аналізу струму навантаження під час роботи потужного кранового навантаження та локальному регулюванні реактивної потужності конденсаторними установками до 1 кВ.

5. Дворівнева система управління джерелами реактивної потуж-

ності у системі електропостачання з нестационарними навантаженнями.

6. Структурні схеми локальних регуляторів реактивної потужності, що являють собою нижній рівень дворівневої системи.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

А к т у а л ь н і с т ь р о б о т и. Однією із задач комплексу заходів енергозбереження є зниження втрат активної потужності та електроенергії в електричних мережах до економічно обґрунтованого рівня. Серед основних засобів вирішення цієї проблеми є раціональна компенсація реактивної потужності (КРП). Питанням раціональної КРП присвячена значна кількість теоретичних та прикладних досліджень. Системний підхід до вирішення задач КРП вимагає урахування сукупності технічних та економічних факторів, що впливають на досягнення оптимуму в цілому за системою. Виходячи з цього, а також враховуючи реальний стан із наявністю вірогідної інформації про активні та реактивні навантаження в електричних мережах різних рівней напруги, використовують ієрархічний принцип.

Об'єктом дослідження дисертації є системи електропостачання (СЕР) промислових підприємств з нестационарними графіками електричних навантажень (на прикладі СЕР морського порту), для яких пропонується підхід до вирішення задачі КРП відповідно викладеному вище ієрархічному принципу. Основна увага приділялась питанням КРП в проектній та експлуатаційній постановках. До них відносяться: дослідження режимів електроспоживання у вузлах розподільчої мережі з рівноманітним складом різнохарактерних навантажень; розробка методики визначення розрахункової реактивної потужності при нестационарних навантаженнях в умовах неповноти інформації; аналіз ефективності управління режимом реактивної потужності за різними параметрами регулювання; вибір параметра управління локальними регуляторами реактивної потужності у відповідності з характером навантаження у вузлі; гармонічний аналіз струму навантаження на стороні нижчої напруги (НН) ТП 6/0,38 кВ. як параметра локального регулювання КУ; вибір схемотехнічних рішень під час розробки нових типів локальних регуляторів у відповідності з критеріями оптимізації і умовами експлуатації; оцінювання величини активного навантаження при реконструюванні СЕР та прогнозуванні лімітів електроспоживання.

М е т о д и д о с л і д ж е н ь. Вирішення викладених вище завдань вимагало використання методів спектрального аналізу, основ

теорії імовірності та математичної статистики, основ теорії нечітких множин.

Наукова новизна.

В дисертаційній роботі вперше:

- досліджено ефективність управління КУ 0,38 кВ локальними регуляторами реактивної потужності при використанні різних параметрів регулювання;

- запропоновано дворівневу систему управління реактивної потужності у СЕП промислових підприємств, що складається з локальних регуляторів оригінальної розробки на нижньому рівні (ТП 6/0,38 кВ); мікропроцесорного пристрою, який управляє режимом реактивної потужності по підприємству в цілому та пристрою передачі сигналів управління від центрального регулятора до локальних й поточного стану секцій КУ у зворотньому напрямі по дводротовій лінії зв'язку, виділеній для цієї мети;

- досліджено режими електроспоживання промислового об'єкту з нестационарними навантаженнями, відтворено інформаційну базу;

- запропоновано алгоритм оцінювання на основі апарату ТММ розрахункових реактивних потужностей у вузлах розподільчої мережі 6(10) кВ у системах електропостачання промислових об'єктів з нестационарними режимами електроспоживання.

Практична цінність. Розроблено і впроваджено комплекс ефективних технічних засобів автоматизованого управління режимом реактивної потужності в умовах СЕП об'єктів з нестационарними навантаженнями. На основі здійснених практичних та теоретичних досліджень розроблено чотири типи локальних автоматичних регуляторів реактивної потужності з різними параметрами управління та дворівнева система з пристроєм узгоджування та передачі інформації.

Реалізація результатів роботи. Результати роботи полягли в основу впровадженої у СЕП Одеського морського порту дворівневої системи управління реактивної потужності, регулятор РРМ-4 впроваджено на районних підстанціях 110/35/6(10) кВ "Арциз" та "Ізмаїл" Ізмаїльського підприємства електричних мереж.

Апробація роботи. Основні положення та матеріали роботи доповідались на таких науково-технічних конференціях та семінарах: Всесоюзна науково-технічна конференція "Электрические нагрузки и электропотребление в новых условиях хозяйствования", м. Москва 1989 р.; Всесоюзна науково-технічна конференція "Повышение эффективности электроснабжения на промышленных предприятиях" м.

Москва 1990 р.; Міжнародна науково-технічна конференція молодих дослідників, Польща, м. Зелена Гура, 1992 р.; Науково-технічний семінар "Условия присоединения потребителей к сети энергосистем", м. Москва, 1992 р.; Науково-технічна конференція "Методи та засоби управління електроспоживанням", м. Київ, 1992 р.

П у б л і к а ц і ї. За темою роботи опубліковано 5 робіт.

С т р у к т у р а т а о б с я г р о б о т и. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів і висновку, які викладені на 137 сторінках машинописного тексту, 48 малюнках, 6 таблицях та 3 додатках. Бібліографія включає 94 праці вітчизняних та зарубіжних авторів. Загальний обсяг роботи 158 сторінок.

У першому розділі здійснено узагальнений аналіз підходів до задачі компенсації реактивної потужності, що діяли на різних етапах розвитку електроенергетики та відображувались у відповідних нормативних документах. Зроблено огляд розвитку засобів управління джерелами реактивної потужності у вітчизняних та зарубіжних СЕП. На основі здійснених досліджень сформульовані мети та завдання дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячено питанням дослідження характеру навантажень у СЕП морського порту. Подано результати статистичного аналізу графіків активного навантаження головних ділянок чотирьох магістралей із різноманітним складом різнохарактерних електроприймачів; показано, що графіки активного навантаження мають нестационарний характер. Запропонована методика визначення розрахункового значення реактивної потужності для СЕП в нестационарним режимом електроспоживання на основі математичного апарату теорії нечітких множин.

У третьому розділі здійснено теоретичний аналіз ефективності управління режимом реактивної потужності локальними регуляторами КВ напругою 0,38 кВ при використанні кута φ та реактивної складової струму навантаження як параметрів регулювання.

У четвертому розділі наведені структурні схеми та описи функціонування дворівневої системи управління реактивною потужністю; трьох типів локальних регуляторів реактивної потужності, які складають нижній рівень цієї системи; пристрою телеуправління та телесигналізації, що зв'язує верхній та нижній рівні; регулятора РРМ-4, призначеного для управління конденсаторними установками вище 1 кВ.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Робота починається з аналізу способів вирішення задачі компенсації реактивної потужності, що здійснювались на різних етапах розвитку електроенергетики та відображувались у відповідних нормативних документах. Відзначено, що розвиток вітчизняної електроенергетики супроводжувався зростанням вимог енергопостачаючих організацій до споживачів у питанні управління споживанням реактивної потужності. Це вимушувало споживачів відшукувати методи та засоби КРП, які відповідали б цим вимогам. Зокрема, підтримка заданих енергосистемою промислового підприємству вхідних значень реактивної потужності у відповідності з діючими "Вказівками по компенсації реактивної потужності" не можлива без застосування пристроїв для управління реактивною потужністю.

Локальні регулятори реактивної потужності вітчизняного та закордонного виробництва, що широко застосовувались до останнього часу у СЕП промислових підприємств, не здатні у повному обсязі виконати вимоги енергосистем по КРП, оскільки спроможні забезпечити оптимальні значення реактивної потужності у кращому випадку тільки у межах однієї ТП 6(10)/0,38 кВ або на рівні однієї магістралі.

Вирішення завдання управління джерелами реактивної потужності в цілому у системі електропостачання промислового підприємства ускладнюється у тому випадку, коли на підприємстві є великі електроприймачі, у яких технологічний процес не має циклічного характеру. До об'єктів такого типу у певній мірі можна віднести морський порт, де основний технологічний процес - перевантажувальні роботи - здійснюється порталними кранами різноманітних типів та встановленої потужності.

У зв'язку з зазначеними метами та характеристикою об'єкту дослідження сформульовано викладені вище завдання дисертаційної роботи.

Через те, що у діючих СЕП промислових підприємств існує недостача вимірвальних засобів технічного обліку реактивної потужності, виникають проблеми збору статистичної інформації достатнього ступеню представництва для адекватної оцінки реактивних навантажень за допомогою методів теорії імовірності. Виходячі з цього запропоновано методику визначення розрахункових значень реактивних навантажень на базі математичного апарату теорії нечітких множин. За

основу була прийнята методика визначення активних навантажень у міських електромережах, розроблена П.Я. Екелєм та В.А. Поповим, згідно якої навантаження подаються у вигляді нечітких множин (НМ), що визначають ступінь їх достовірності на деякому числовому інтервалі.

При цьому використовується інформація, сдержана як з формальних, так і з неформальних джерел. Формальними джерелами стали типові інтервальні графіки активної потужності характерних електроприймачів у СЕП об'єкту дослідження - морського порту та результати сезонних вимірювань на головних ділянках магістралей. Як неформальні джерела використані експертні оцінки найбільш кваліфікованих робітників диспетчерських служб. Виділено три основні групи електроприймачів морського порту: кранове навантаження, зовнішнє освітлення, загальноспортове навантаження. Для всіх груп визначені типові графіки активної потужності.

Проведено статистичний аналіз графіків активної та реактивної потужності головних ділянок чотирьох магістралей з різним складом різнохарактерних електроприймачів по добірці з 28 добових реалізацій з інтервалом осереднення 30 хвилин. Дослідження показали, що випадковий процес змінювання цих параметрів носить нестационарний характер і має не більше однієї ділянки умовної стаціонарності (з 09:00 до 12:00).

Для оцінювання взаємної кореляційної залежності між активною та реактивною складаючими навантаження вираховувались нормовані кореляційні моменти на кожному із 48 ступенів реалізацій випадкового процесу як

$$r_{j,j'}[P,Q] = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_{ij} - \bar{P}_{oj})(Q_{ij} - \bar{Q}_{oj})}{\tilde{\sigma}_{Pj} \cdot \tilde{\sigma}_{Qj}}$$

де j - номер ступеня графіка навантаження; i - номер реалізації добового графіка; N - кількість реалізацій; \bar{P}_{oj} , \bar{Q}_{oj} , $\tilde{\sigma}_{Pj}$, $\tilde{\sigma}_{Qj}$ - оцінки математичних сподівань та середньоквадратичних відхилень активної та реактивної складаючих навантаження відповідно; P_{ij} , Q_{ij} - значення активної та реактивної потужностей i -ї реалізації на j -му ступені графіка.

Статистичний аналіз виявив доволі сильний взаємкореляційний зв'язок між активною та реактивною потужностями на головних ділянках магістралей (0,7 - 0,9) незалежно від співвідношення кранового

навантаження до інших електроприймачів, що працюють на одній магістралі.

На основі статистичних досліджень взаємної кореляції активної та реактивної потужності, графіків фазового кута визначено типову ФН нечіткої множини кута φ .

Таким чином, алгоритм, що пропонується для визначення ФН нечітких множин реактивних потужностей, має такий вигляд.

1. По типовим графікам активної потужності, сезонним вимірюванням та експертним оцінюванням формуються узагальнені ФН нечітких множин активних навантажень розподільчих ТП 6(10)/0,38 кВ.

2. Із одержаних ФН шляхом порівневого множення їх на типову ФН фазового кута формуються ФН НМ реактивних потужностей.

3. Аналогічні дії, як у п.п.1,2 виконують по даним вимірювань для головних ділянок магістралей та одержують ФН НМ реактивної потужності на цих ділянках.

4. Із ФН НМ реактивної потужності ТП, що знаходяться на одній магістралі, формуються підсумкові ФН по ділянкам ліній у відповідності з правилами арифметики та основними електротехнічними законами при виконанні порівневого складання ФН.

5. Пересічення двох нечітких множин на головних ділянках магістралей - сформованої по даним вимірювань та одержаної з НМ трансформаторних підстанцій є шуканою величиною - ФН НМ реактивного навантаження головної ділянки даної магістралі.

6. Виконується уточнювання ФН реактивних навантажень на ТП за алгоритмом "зворотнього поточкорозподілення". Із ФН НМ реактивної потужності, одержаного по даним вимірювань, здійснюється віднімання ФН ділянок магістральної лінії, визначених у п.4. Пересічення, одержаних в результаті цієї дії НМ реактивних навантажень цих же вузлів, що були визначені у п.2 є уточнене значення НМ реактивних навантажень на ТП 6(10)/0,38 кВ.

Далі було проведено теоретичний аналіз ефективності управління реактивною потужністю локальними регуляторами конденсаторних установок до 1 кВ при використанні у якості параметру регулювання фазового кута та реактивної складової навантаження. Визначено спектральний склад струму навантаження з метов обмеження впливання вищих гармонік на вимірювальні органи регуляторів реактивної потужності. Описано алгоритм спектрального аналізу на основі перетворення Фур'є та сплайн-апроксимації, здійснено оцінювання похибок та подані рекомендації відносно галузі їх використання.

Для кожного з параметрів на комплексній площині збудовані діаграми, що відображують робочу зону та зону нечутливості регулятора (мал.1). При цьому враховувались номінальна потужність силового трансформатора, реальна величина його коефіцієнта загрузки, потужність ступеня регулювання та величина зони нечутливості. У якості критерія ефективності регулювання була прийнята імовірність попадання вектору повного навантаження $S_{\text{наб}}$ у робочу зону регулятора.

Оскільки розглядається система двох випадкових змінних, то імовірність попадання випадкової точки (X, Y) у елементарний прямокутник зі сторонами dx, dy , що приликає до точки (X, Y) , приблизно визначається елементом імовірності $f(x, y)dx dy$. Тому імовірність попадання випадкової точки (X, Y) у довільну область D можна виражувати за формулою

$$P\{(X, Y) \in D\} = \iint_{(D)} f(x, y) dx dy,$$

де $f(x, y)$ - густина розподілення двох випадкових величин.

Тому у загальному випадку для прийнятого нормального розподілення двох випадкових величин на площині визначається формулою

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\gamma^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-\gamma^2)} \left[\frac{(x-m_x)^2}{\sigma_x^2} - \frac{2\gamma(x-m_x)(y-m_y)}{\sigma_x\sigma_y} + \frac{(y-m_y)^2}{\sigma_y^2} \right] \right\}, \quad (1)$$

де m_x, m_y - математичні сподівання випадкових величин X, Y ; σ_x, σ_y - їх середні квадратичні відхилення; γ - їх коефіцієнт кореляції.

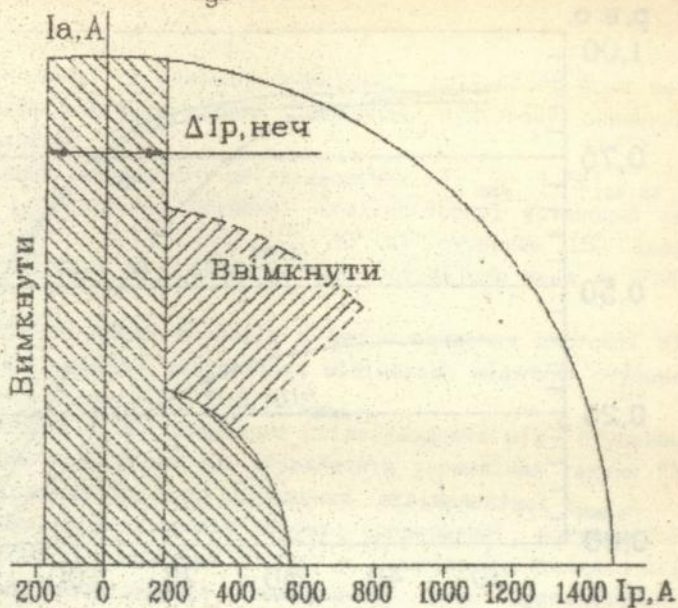
Інтеграл, поданий у (1), для площі довільної форми, якою є область роботи регулятора, через відомі функції не виражається. Тому для інтегрування була використана кубатурна формула Гаусса.

Оскільки величина робочої зони залежить від потужності ступеня силових конденсаторів, розраховано залежності імовірності попадання $S_{\text{наб}}$ у робочу зону від величини ступеня КУ (мал.2) на прикладі трансформаторів потужністю 630 та 1000 кВА.

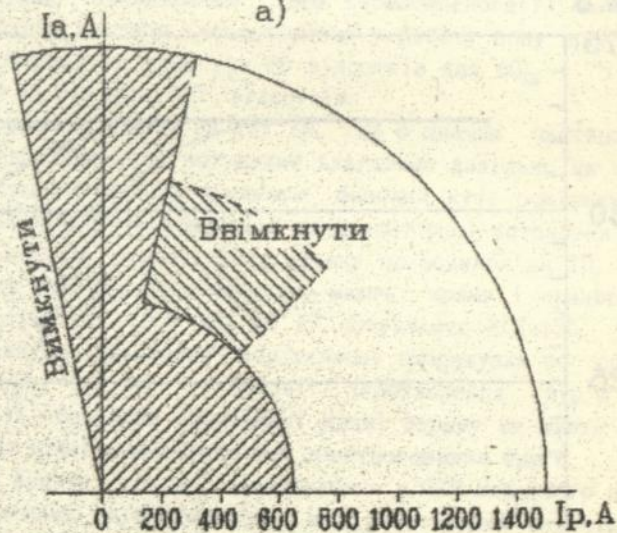
Аналізуючи одержані результати досліджень, можна зробити такі висновки.

1. Ефективність роботи локальних регуляторів та ступінь використання КУ суттєво залежить від співвідношення потужності силового трансформатора та величини найбільшого ступеня КУ, яке визначає робочу область та зону нечутливості.

2. На магістралях, частина ТП яких не має КУ, в метов

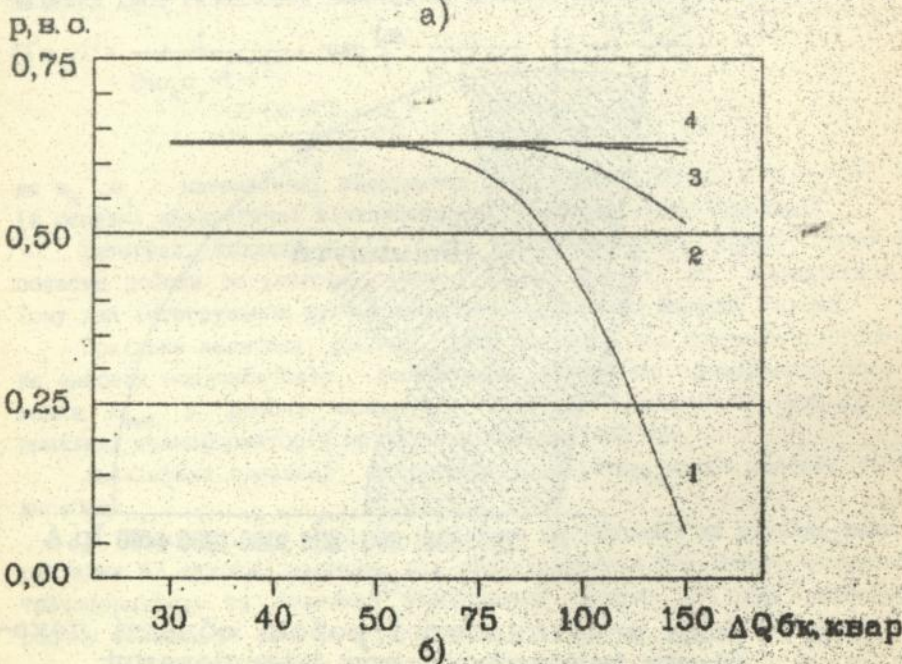
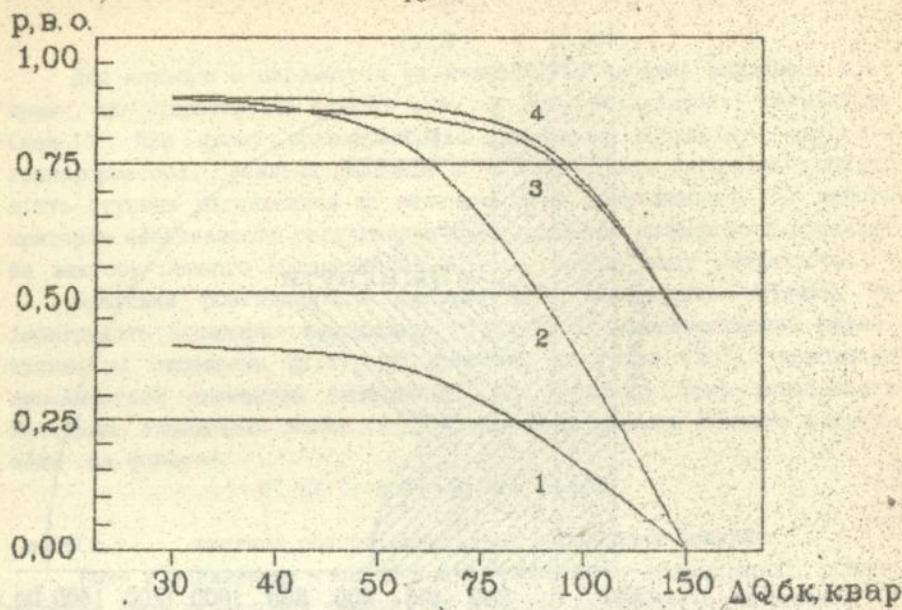


а)



б)

Мал.1. Зони нечутливості і робочі області локальних регуляторів при регулюванні:
 а) по реактивному струму (реактивної потужності);
 б) по фазовому куту



Мал.2. Залежність імовірності попадання вектору повного навантаження у робочу зону регулятора від величини ступеню конденсаторної батареї при регулюванні:
 а) по фазовому куту. б) по реактивному струму (реактивній потужності).

підвищення ефективності регулювання реактивної потужності зона нечутливості повинна розташовуватись симетрично нульовому значенню параметра регулювання.

3. Для звичайно прийнятого співвідношення $\Delta I_{p \text{ неч}} = 1,5 \Delta I_{ст \text{ КУ}}$ ($\Delta Q_{\text{неч}} = 1,5 \Delta Q_{ст \text{ КУ}}$) величина ступеня конденсаторної установки не повинна перевищувати $(0,13 \pm 0,15) S_{\text{НОМ.Т}}$; КУ зі ступенем 150 квар нецільно застосовувати на трансформаторах потужністю менш як 1000 кВА.

4. Для зменшення числа ступенів з метою зниження вартості КУ при збереженні ефективності регулювання мінімальна величина ступеню КУ може бути узятою порядку $(0,08 \pm 0,10) S_{\text{НОМ.Т}}$.

5. При наявності у СЕП невеликого співвідношення між ступенем КУ та потужністю трансформатора передбачити управління такими КУ від центрального регулятора (для збільшення еквівалентної $S_{\text{НОМ.Т}}$).

6. Регулювання по реактивному струму (реактивної потужності) має перевагу перед регулюванням по куту φ , оскільки незалежно від розташування зони нечутливості (симетрично, якщо припускається перекомпенсація або асиметрично - без перекомпенсації) величина імовірності попадання вектору навантаження у робочу зону практично не змінюється і складає не менш ніж 60 відсотків для $\Delta Q_{\text{КУ}} = 75$ квар при максимальному її значенні 65 відсотків.

7. У СЕП морського порту на тих ТП, де в значна частина (до 60%) кранового навантаження з потужними двигунами доцільно як параметр для локального регулятора прийняти фазовий кут, оскільки при цьому скорочується кількість комутацій конденсаторної установки.

Гармонічний аналіз струму навантаження проводився на ТП, де у загальному балансі навантаження перевагу мають крани і працюють 2 трансформатори потужністю 1000 кВА та КУ потужністю 2(3x150) квар. Розроблено програми та проведено порівняльні розрахунки по спектральному аналізу на основі перетворення Фур'є та сплайн-апроксимації. Оскільки досліджені криві струму не мають розривів, тому більш точні результати дає перетворення Фур'є.

Спектральний аналіз струму навантаження у СЕП морського порту показав, що при деяких співвідношеннях між реактивними навантаженнями виникають вищі гармоніки (перевагу мають 5-а та 7-а), здатні негативно впливати на роботу вимірвальних органів регуляторів.

Для обмеження цього впливу пропонується використовувати у вхідних колах регуляторів фільтри Баттерворта другого порядку або схему аналогового множення вхідних сигналів, нечутливу до рівня

вищих гармонік струму навантаження.

В плані практичної реалізації наведено структурні схеми та описання функціонування дворівневої системи управління реактивною потужністю; трьох типів локальних регуляторів, що складають нижній рівень системи; пристрою телеуправління та телесигналізації, що зв'язує верхній та нижній рівні; регулятора РРМ-4, призначеного для управління конденсаторними установками напругою вище 1 кВ.

Основний параметр регулювання регулятора РРМ-1 (мал. 3) - кут φ ; корекція здійснюється по повному струму навантаження, введені обмеження по величині напруги; логічний блок реалізує такі логічні функції:

ввімкнути батарею конденсаторів: $y = (x_1 + x_2) \cdot x_3 \cdot \bar{x}_4$;

вимкнути батарею конденсаторів: $z = x_4 + x_5 + x_6 \cdot x_2 \cdot x_3$.

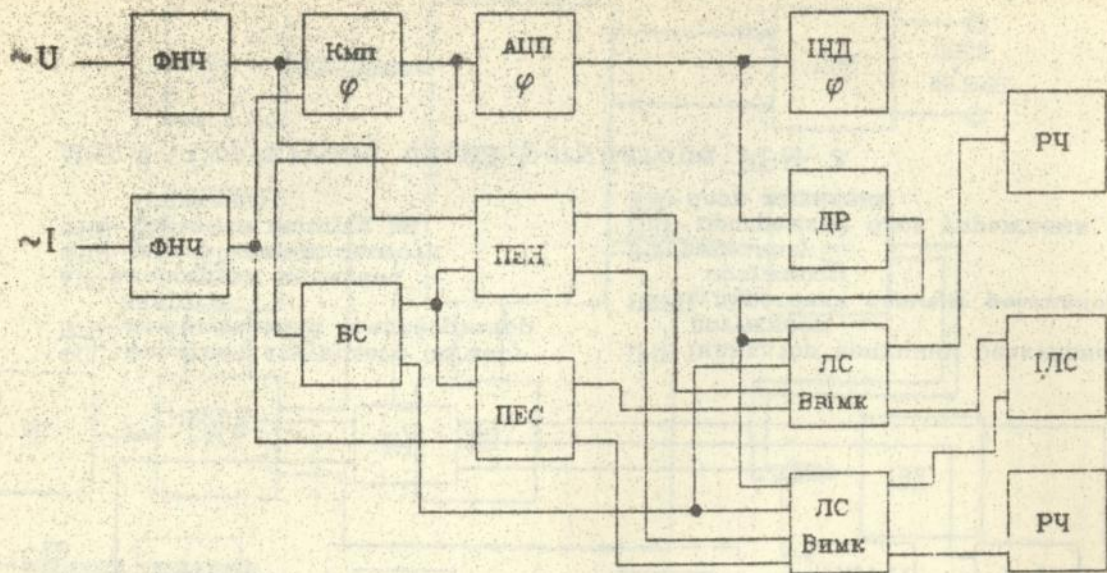
де x_1 - перевищення уставки куту φ (індуктивного); x_2 - напруга нижче $0,98U_{ном}$; x_3 - повний струм більше уставки ($0,5 \dots 0,6I_{ном}$); x_4 - напруга вище $1,08U_{ном}$; x_5 - повний струм менше уставки ($0,2 \dots 0,3I_{ном}$); x_6 - перевищення уставки куту φ (емісного).

Регулятор РРМ-2 має як основний параметр реактивну складову струму. Для її виділення використано інтегратор, межі інтегрування якого змінені на 90 градусів по відношенню до вхідної напруги.

На мал.4. показано структурну схему локального регулятора РРМ-3. Давач реактивної потужності складається з буферних підсилювачів 3.1 та 3.4, перемножувача 3.2, низькочастотного фільтру 3.3 та формувача напруги індикації потужності 3.5.

Регулятор реактивної потужності РРМ-4 призначений для автоматичного управління КВ районних підстанцій з трьохобмотковими трансформаторами. Логіка функціонування цього пристрою передбачає скорочування перетоків реактивної потужності у мережі 110 кВ для зменшення втрат електроенергії та покращення режиму напруги. Взаємодія РРМ-4 з автоматикою пристрою РПН трансформатора виключає комутацію секцій конденсаторних батарей під час перемикань відгалуджень трансформатора і навпаки.

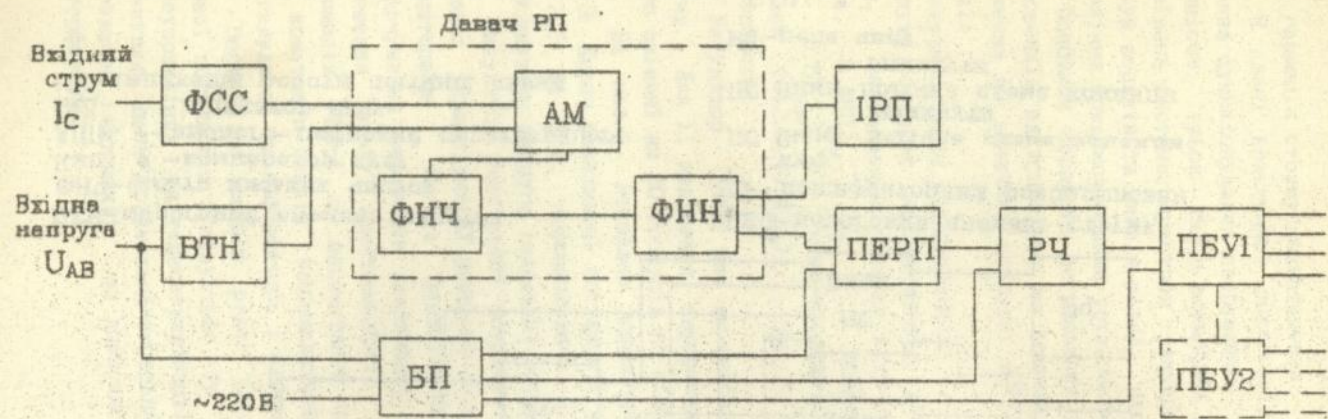
Верхній та нижній рівні дворівневої системи управління реактивної потужності з'єднуються за допомогою розробленого пристрою телеуправління та телесигналізації (мал.5), фізично реалізованого у вигляді двох приймально-передавальних комплектів з послідовною передачею інформації, що дозволяє з'єднувати його зі стандартними інтерфейсами.



ПЕН—пороговий елемент напруги
 ФНЧ—фільтр низьких частот
 КМП φ —компаратор куту
 АЦП φ —аналого-цифровий перетворювач
 ІНД φ —індикатор куту
 ІЛС—індикація роботи логічної схеми

ПЕС—пороговий елемент струму
 ДР—дешифраторний розподільвач куту
 ЛС Вімк—логічна схема команди вимкнуті
 ЛС Вімк—логічна схема команди вимкнуті
 РЧ—реле часу.

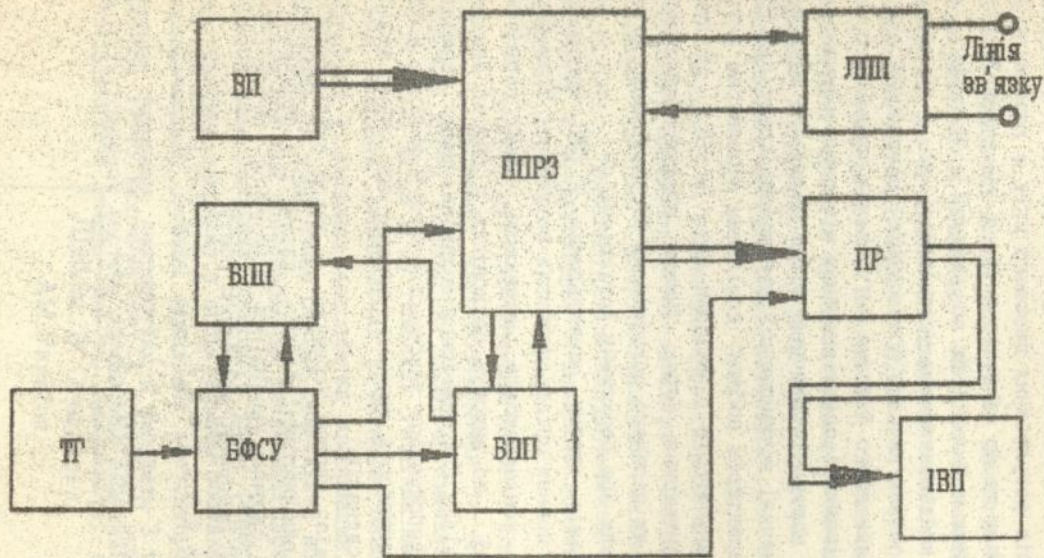
Мал.3. Структурна схема регулятора РРМ-1.



ФСС-формувач струмового сигналу
 ВТН-вимірювальний трансформатор напруги
 АМ-аналоговий множувач
 ФНЧ-фільтр низької частоти
 ФНН-формувач напруги на індикацію

ІРП-індикатор величини реактивної потужності
 ПЕРП-пороговий елемент реактивної потужності
 РЧ-реле часу
 ПБУ-програмний блок управління
 БЖ-блок живлення

Мал.4. Структурна схема регулятора РРМ-3.



ВП-вхідний пристрій
 ППРЗ-паралельно-последовний
 реєстр зміщення
 ЛПП-лінійний прийомо-передавач
 РР-проміжний реєстр
 ІВП-індикатор виконуючого
 пристрою

ТГ-тактовий генератор
 БФСУ-блок формування сигналів
 управління
 БПП-блок перевірки паритету
 БПП-блок перевірки помилок

Мал.5. Структурна схема телеуправління та телесигналізації.

ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

1. На основі результатів стохастичних досліджень добових графіків навантаження чотирьох вводів у СЕП морського порту, та на базі методики, заснованої на апараті ТНМ, запропоновано алгоритм та розроблена програма оцінювання реактивних навантажень у вузлах розподільчої мережі з нестационарними режимами електроспоживання та неповнотою початкової інформації.

2. Проведено оцінювання ефективності управління режимом реактивної потужності локальними регуляторами КУ напругою до 1 кВ при використанні як параметрів регулювання фазового куту з корекцією по повному струму навантаження та по напрузі, а також реактивної складової струму навантаження з корекцією по напрузі. Показано, що ефективність управління конденсаторними установками до 1 кВ суттєво залежить від співвідношення величин встановленої потужності силових трансформаторів та найменшого ступеня регулювання конденсаторної установки; визначені раціональні співвідношення між цими величинами.

3. У СЕП морського порту, із значною долею кранового навантаження, при значній величині встановленої потужності крану (до 800 кВт) та різко змінним характером роботи, доцільним параметром регулювання для локальних регуляторів є фазовий кут. На ТП, де нема переваги кранового навантаження перед іншими електроприймачами, доцільно використовувати як параметр регулювання КУ реактивну складову струму навантаження або реактивну потужність.

4. Спектральний аналіз струму навантаження у СЕП морського порту показав, що при певних співвідношеннях потужності трансформаторів та ввімкнених конденсаторів виникають вищі гармоніки (переважають 5-а та 7-а), що вносять похибність у роботі вимірвальних органів регуляторів. Для обмеження впливання вищих гармонік на вимірвальні органи пропонується використовувати у вхідних колах регуляторів фільтри Баттерворта другого порядку або схему аналогового множення вхідних сигналів.

5. На основі аналізу систем тарифів, а також аналізу ефективності управління при використанні різних параметрів регулювання запропонована дворівнева система управління реактивною потужністю; систему впроваджено у СЕП Одеського морського порту.

За темою дисертації опубліковано такі роботи:

1. Беляев В. Л. Высшие гармоники в электрических сетях морских портов с конденсаторными установками. // Тез. докл. международного

науч. симпозиума студентов и молодых научных работников. - Польша, Зелена Гура, 1992. -с. 63-66.

2. Беляев В.Л. Гармонический анализ несинусоидальных режимов при компенсации реактивной мощности. // Условия присоединения потребителей к сети энергосистем: Тез. докл. науч.- техн. конференции. Москва, 1992. -с. 36-39.

3. Беляев В.Л., Джевага В.И., Фомичев Е.П. Повышение надежности и возможностей автоматизированной системы учета электроэнергии. // Электрические нагрузки и электропотребление в новых условиях хозяйствования: Тез. докл. науч.- техн. конференции. Москва, 1989. -с. 49-53.

4. Беляев В.Л., Фомичев Е.П., Джевага В.И., Управление источниками реактивной мощности в АСУЭ. // Повышение эффективности электрообеспечения на промышленных предприятиях: Тез. докл. науч.- техн. конференции. Москва, 1990. -с. 26-29.

5. Фомичев Е.П., Беляев В.Л. Эффективность управления режимом реактивной мощности конденсаторными установками. // Условия присоединения потребителей к сети энергосистем: Тез. докл. науч.- техн. конференции. Москва, 1992 -с. 40-44.

Беляев В.Л. Компенсация реактивной мощности в системах электрообеспечения промышленных предприятий с нестационарными нагрузками (на примере системы электрообеспечения морского порта). Рукопись. 05.09.03. - "Электротехнические комплексы и системы, включая их управление и регулирование". Киевский политехнический институт. Киев, 1995.

В диссертации рассмотрены вопросы компенсации реактивной мощности в системах электрообеспечения с нестационарными нагрузками (морской порт). Исследован характер изменения реактивных нагрузок на ТП 6(10)/0.38 кВ и на головных участках магистралей порта; разработана методика определения реактивной мощности для нестационарных нагрузок в условиях недостатка информации; проанализирована эффективность регулирования режима реактивной мощности локальными регуляторами ККУ при использовании различных параметров (реактивной составляющей тока нагрузки, фазового угла, реактивной мощности); получены достоверные сведения о спектральном составе тока нагрузки для защиты измерительных органов локальных регуляторов реактивной мощности от высших гармоник; разработаны и внедрены 3 типа локальных регуляторов в двухуровневой системе управления реактивной мощностью.

Belyaev V.L. The compensation of the reactive power in electric power supply systems with nonstationary loads (the sea port has been taken as an example). Manuscript. 05.09.03 "Electrical engineering complexes and systems, that including control and regulation". Kiev Polytechnical Institute. Kiev, 1995.

The dissertation deals with compensation of the reactive power in electric power supply systems with nonstationary loads (the sea port has been taken as an example).

In this thesis such problems have been handled: the investigation of reactive loads variation pattern at the transformer substations 6(10)/0,38 kV and at the trunks head section in the industrial plant power network 6(10) kV with non-stationary modes of an electric consumption; the development of the exploration procedure as to the reactive power for the nonstationary loads in conditions of the information deficiency; the analysis of the control efficiency of the reactive power mode by power capacitors local controllers, applying the various control parameters (reactive current component, phase angle, reactive power); the getting reliable information as to spectral composition of the load current for protection meter elements of the local controllers from higher harmonics' action; the creation of two-level control system of the reactive power in the industrial plant power network, which would be able to maintain the given reactive power levels in accordance with demands of the electric power system and should decrease losses from reactive power transmission in the plant networks.

Ключові слова: нестационарні навантаження, компенсація реактивної потужності, ефективність регулювання, локальні регулятори.

Подп. к печати 3.02.95г. Формат 60x84 I/16.
Объем 0,8уч. изд. л. 1,25п. л. Заказ № 71/3. Тираж 100экз.
Гортипография Одесского управления по печати, цех №3.
Ленина 49.

115682

AB 31.892

AB 31.892