

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УКРАИНЫ  
КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

На правах рукописи  
УДК 621.316.728

**Хаддад Бассам Турки Якоб**  
(Иордания)



**МЕТОДЫ РАСЧЕТА КОМПЕНСИРУЮЩИХ  
УСТАНОВОК И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА  
УПРАВЛЕНИЯ ИМИ**

Специальность : **05.09.03** - Электротехнические комплексы и  
системы,  
включая их управление и регулирование

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Киев 1997

621.3-1

Диссертация является рукописью

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00753832 (S)

Работа выполнена на кафедре теоретической электротехники и электроснабжения винницкого государственного университета (ВГУ)

Научный руководитель - кандидат технических наук , доцент  
Рогальский Б.С.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор  
Зорин В.В.  
кандидат технических наук, доцент  
Михайлив Н. И.

Ведущая организация - АОТ "Киевпромэлектропроект"

Защита состоится "19" Мая 1997 г. в 15 часов на заседании специализированного совета К '01.02.04 в Национальном техническом университете Украины ( КПИ ) , корп. 22, ауд. 608

Отзывы (в двух экземплярах) на автореферат, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу:

252056, Киев-56, проспект Победы, 37, КПИ,  
Ученому секретарю.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального технического университета Украины (КПИ)

Автореферат разослан "17" 04 1997 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
к.т.н., доцент

В.В. Прокопенко

### Общая характеристика работы

**Актуальность проблемы.** Для стран с ограниченными энергоресурсами ( в т.ч. для Украины и Иордании) проблема энергосбережения стоит особенно остро. Компенсация реактивной мощности (КРМ) в электрических сетях потребителей и энергосистем является одним из важнейших направлений энергосбережения в электроэнергетике. Поэтому повышение эффективности КРМ - наиболее актуальная задача.

**Целью диссертационной работы** является повышение эффективности компенсации реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и потребителей за счет обоснования более высокой степени КРМ, оптимизации размещения КУ и управления ими.

**Поставленная цель достигается решением следующих задач:**

1. Проведение анализа известных методов расчета оптимальной КРМ в электрических сетях, способов и технических средств управления КУ и разработка требований к новым методам расчета, способам и средствам управления КУ.
2. Разработка общего алгоритма поэтапного расчета оптимальной КРМ.
3. Разработка методов и программы расчета оптимальной входной реактивной мощности для сетей подсистемы и ее узлов.
4. разработка и совершенствование комплекса технических средств локального и централизованного управления КУ по условию минимума потерь электроэнергии.
5. Разработка и уточнение методов и критериев оценки эффективности и погрешности расчетов КРМ и управления КУ.

**Методы исследований.** Методологическую основу диссертационной работы составляет теория графов и аппарат матричной алгебры, метод оптимизации неопределенных множителей Лагранжа.

**Научная новизна состоит в следующем :**

1. Выполнена классификация известных методов расчета КРМ и технических средств управления КУ;
2. Предложен общий алгоритм поэтапного расчета оптимальной КРМ, включающий корректировку решения по условию снижения мощности трансформаторов и сетей или отдаления сроков их реконструкции, определение входной мощности с позиции потребителей и проверку выполнения технических ограничений и при необходимости корректировку решения;
3. Разработан метод и программа определения входных реактивных мощностей на вводах подсистемы и ее узлов, отличаю-

щихся от известных относительной простотой, что облегчает ее освоение персоналом энергосистем и потребителей, и большой точностью (за счет учета в расчетах дополнительных факторов);

4. Предложенный метод определения и корректировки входных реактивных мощностей на вводах узлов подсистемы позволяет осуществлять оптимизацию размещения КУ с учетом их неустановки в ряде узлов, наличия нерегулируемых КУ, изменения их количества в процессе эксплуатации и невыполнения технических ограничений в некоторых узлах.
5. Создание устройств локального действия, предназначенных для целевого использования (для узлов с повторяющейся или изменяющейся конфигурацией суточных графиков реактивной нагрузки) позволяет их упростить и удешевить и повысить в целом эффективность способа управления БК с помощью группы таких устройств.
6. Способ и система централизованного управления БК позволяет учитывать отмеченные в п.4 особенности действующей сети, а также изменение условий оптимизации в процессе управления (изменения количества БК при их выходе из строя или выводе в ремонт, наступление нестабильных режимов потребления реактивной мощности и т.д.), что обеспечивает большее снижение потерь электроэнергии.
7. Предложенные структурная блок-схема устройства, математическая модель и блок-схема алгоритма управления реактивной мощности предприятия группой СД позволяют осуществить управление по условию минимальных потерь в двигателях и питающих их линиях при изменении условий оптимизации (см. п. 6), а также при вступлении в силу технических ограничений по генерируемой мощности или току для одного или нескольких СД, что в целом повышает эффективность управления.
8. Методы и критерии оценки эффективности погрешности расчетов КРМ и управления КУ разработаны с учетом требований нормативных документов и новых подходов к расчету и управлению КУ.

**Практическая ценность работы** заключается в возможности использования предложенных методов для определения входной реактивной мощности на вводах потребителя и ее задания при заключении с ними договоров на поставку электроэнергии. Результаты исследований по проблеме управления КУ могут быть

положены в основу создания на Украине комплекса технических средств управления КУ. Результаты исследований можно использовать также в учебном процессе.

**Реализация результатов работы.** Результаты диссертационной работы положены в основу при разработке экспериментальных образцов автоматических регуляторов локального действия и использованы в учебном процессе.

**Апробация работы.** Основные положения работы и ее результаты докладывались на конференциях профессорско-преподавательского состава Винницкого государственного технического университета в 1993-1997 г.г., на 1-й международной научно-технической конференции "Математическое моделирование в электротехнике и электроэнергетике" (Львов, 1995 г) и 3-й международной научно-технической конференции "Контроль и управление в технических системах" (Винница, 1995 г.)

**Публикации.** По результатам проведенных исследований опубликовано 8 печатных работ.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа содержит 223 страницы машинописного текста, 18 страниц рисунков и таблиц, 7 страниц приложений и список литературы из 81 наименования.

**В первой главе** выполнен анализ известных методов расчета компенсации реактивной мощности в электрических сетях, технических средств управления компенсирующими установками и методов оценки их эффективности и погрешности. Выполнена классификация методов расчета и технических средств управления. На основе проведенного анализа уточнены требования к КРМ и управления КУ и поставлены задачи исследований.

**Во второй главе** излагаются предлагаемые методы расчета оптимальной компенсации реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и потребителей.

**В третьей главе** предложен комплекс способов и технических средств локального и централизованного управления компенсирующими установками (структурные блок-схемы устройств и систем, математические модели и блок-схемы алгоритмов управления и методы определения уставок для устройств и систем).

**В четвертой главе** разработаны и уточнены методы и критерии оценки эффективности и погрешности расчетов КРМ и управления компенсирующими установками.

**В заключении** сформулированы основные выводы и результаты работы.

## Основное содержание работы

Исследование проблемы компенсации реактивной мощности в электрических сетях на Украине и других странах СНГ получили широкое развитие. На их основе разрабатывались нормативные документы по проектированию КРМ в электрических сетях. Анализ многочисленных работ по данной проблеме и нормативных документов показал, что несмотря на достигнутый прогресс, известные методы (нормативные и ненормативные) нуждаются в дальнейшем совершенствовании с целью повышения эффективности компенсации. Для решения этой задачи предложен общий алгоритм поэтапного расчета оптимальной КРМ, излагаемый в работе.

С целью упрощения расчетов сети энергосистем и потребителей разбиваются на ряд древовидных подсхем (подсистем) путем преобразования замкнутых питающих сетей в разомкнутые. Питающие сети энергосистемы 35+220 кВ представляются полными, а распределительные сети 6-10 кВ (до шин 0.4 кВ) трансформаторных подстанций эквивалентными сопротивлениями;

Задача решается путем минимизации целевой функции - приведенных затрат на компенсацию реактивной мощности в сетях подсистемы:

$$Z = \dot{Q}_n \cdot \dot{D} \cdot (1 - \psi) + \dot{Q}_n \cdot \dot{P}RC \cdot (\dot{Q}_n \cdot \dot{P})^t \cdot \psi^2, \quad (1)$$

где  $\dot{Q}_n$  - вектор реактивных нагрузок в узлах подсистем, МВАр;  $\dot{D}$  - вектор удельных затрат на генерацию реактивной мощности источниками в узлах сетей подсистемы, грн/МВАр;  $Z_{y, \Gamma_i}$  - удельные затраты на генерацию реактивной мощности  $i$ -м источником ( в  $i$ -м узле ), грн/МВАр;  $(\psi$  - входная реактивная мощность для сети подсистемы в относительных единицах  $\psi = Q_{\text{Э}} / Q_M$ ,  $Q_{\text{Э}}$  - входная реактивная мощность в абсолютных единицах, МВАр;  $Q_M$  - максимум реактивной нагрузки на вводе сетей подсистемы, МВАр);  $\dot{P}$  - матрица коэффициентов распределения или матрица путей ( $\dot{P} = -C_{pt}$ ),  $\dot{C}$  - диагональная матрица коэффициентов  $C_{oi} / k_0 U_{ni}^2$  ( где  $C_{oi}$  - удельная приведенная стоимость потерь активной мощности в  $i$ -й ветви схемы замещения сетей подсистемы, грн / кВт;  $U_{ni}$  - номинальное или фактическое среднее напряжение в  $i$ -й ветви схемы замещения, кВ;  $k_0$  - коэффициент отклонения фактического потокораспределения реактивной мощности в сетях подсистемы до компенсации от оптимального значения ( по условию минимума потерь ) ;  $\dot{R}$  -

диагональная матрица активных сопротивлений ветвей схемы замещения сетей подсистемы, Ом.

С помощью матрицы путей определяется поокораспределение в сети подсистемы, т.е. реактивные нагрузки ветвей ( $\dot{Q}_B = \dot{Q}_H \cdot \dot{P}$ ).

Из условия  $\partial Z / d\psi = 0$ . Получим выражение для определения оптимального значения входной реактивной мощности (в отн. ед.) для сетей подсистемы :

$$\psi_{\text{опт}} = \left[ 2 \cdot \dot{Q}_B \cdot \dot{R} \cdot \dot{C} \cdot (\dot{Q}_B)_t \right]^{-1} \cdot \dot{Q}_H \cdot \dot{D} , \quad (2)$$

и в абсолютных единицах:

$$Q_{\text{э}} = \psi_{\text{опт}} \cdot Q_M , \quad (3)$$

Оптимальное значение суммарной мощности КУ, которые экономически целесообразно установить в сетях подсистемы, определяется по условию баланса реактивной мощности на ее вводе

$$Q_{\text{КУ}} = Q_M - Q_{\text{э}} = (1 - \psi_{\text{опт}}) \cdot Q_M , \quad (4)$$

Определение величин  $\psi$ ,  $Q_{\text{э}}$ ,  $Q_{\text{КУ}}$  по условию снижения потерь приведет к разгрузке трансформаторов и ЛЭП. Учет дополнительного эффекта от снижения мощности трансформаторов и ЛЭП ( при проектировании ) или отдаления сроков их реконструкции ( в условиях эксплуатации ) позволяет экономически обосновать более высокую степень компенсации реактивной мощности в сетях подсистемы ( или меньшую входную реактивную мощность на ее вводе )

Корректировка величин  $\psi_{\text{опт}}$ ,  $Q_{\text{э}}$ ,  $Q_{\text{КУ}}$  при учете дополнительного эффекта производится по следующему алгоритму .

Вначале определяются приведенные затраты на компенсацию до изменения параметров трансформаторов сетей при  $\psi = \psi_{\text{опт}}$  :

$$Z_1 = \dot{Q}_H \cdot \dot{D} \cdot (1 - \psi_{\text{опт}}) + \dot{Q}_B \cdot \dot{R} \cdot (\dot{Q}_B)_t \cdot \psi_{\text{опт}}^2 , \quad (5)$$

Затем определяется экономия приведенных затрат после уменьшения мощности выбранных трансформаторов и сетей или отдаления сроков реконструкции действующих.

$$\Delta Z = E \cdot \Delta \dot{K} \cdot \dot{n} + \Delta \dot{P}_{\text{хх}} \cdot (\dot{C}_0)_t , \quad (6)$$

где  $\Delta \dot{K}$  - вектор-строка разностей стоимости трансформаторов до и после уменьшения их мощности ( при проектировании ) или между стоимостью новых трансформаторов и ЛЭП и ликвидационной стоимостью действующих ( при реконструкции ), тыс. грн.;  $E$  - суммарный коэффициент отчислений от капитальных вложений ;  $\dot{n}$  - единичная матрица ( вектор-столбец );  $\Delta \dot{P}_{\text{хх}}$  - вектор-строка разностей потерь холостого хода трансформаторов до и после из-

менения их мощности при проектировании или реконструкции, кВт ;  $\dot{C}_0$  - вектор удельной стоимости потерь электроэнергии в трансформаторах, которые проектируются или реконструируются, грн/кВт в год ;  $n$  - количество трансформаторов и ЛЭП, мощности которых изменяются ;  $m$  - количество трансформаторов, мощность которых изменяется.

Приведенные затраты на компенсацию после изменения мощности трансформаторов и ЛЭП, которые проектируются или сроки реконструкции которых отдалаются, определяются по формуле

$$Z_2 = \dot{Q}_H \cdot \dot{D} \cdot (1 - \psi'_{\text{онт}}) + \dot{Q}_B \cdot \dot{R}' \cdot \dot{C} \cdot (\dot{Q}_B)_t (\psi'_{\text{онт}})^2 - \Delta Z, \quad (7)$$

где  $\psi'_{\text{онт}}$  - новое (более низкое) значение входной реактивной мощности, при котором выполняется условие :

$$Z_2 \leq Z_1, \quad (8)$$

$\dot{R}'$  - диагональная матрица активных сопротивлений ветвей после изменения параметров трансформаторов и ЛЭП.

Далее осуществляется корректировка остальных величин.

$$Q'_3 = \psi'_{\text{онт}} \cdot Q_M; \quad Q'_{KY} = Q_M - Q'_3 = (1 - \psi'_{\text{онт}}) \cdot Q_M, \quad (9)$$

Следующим этапом расчета оптимальной КРМ является решение балансовой задачи, т.е. определение оптимальных значений входных реактивных мощностей на вводах нагрузочных узлов энергосистемы и потребителей с учетом особенностей компенсации в конкретных сетях.

Математическая модель для определения входных мощностей на вводах потребителей и нагрузочных узлов энергосистемы и их корректировки имеет следующий вид :

$$\begin{cases} \Delta P = \frac{10^{-3}}{U_H^2} \left[ (\dot{Q}'_3)_t \cdot \dot{\Pi} \cdot \dot{R}' \cdot \dot{\Pi}_t \cdot \dot{Q}'_3 + (\dot{Q}_H)_t \cdot \dot{\Pi}' \cdot \dot{R}' \cdot \dot{\Pi}'_t \cdot \dot{Q}_H \right] \rightarrow \min \\ Q'_3 = \dot{n}_t \cdot \dot{Q}'_3 + \dot{n}_t \cdot \dot{Q}_H \\ Q'_{3i} \leq Q_{Hi}, Q_{KY} \geq 0 \\ U_{\max} \geq U \geq U_{\min} \\ I \leq I_{\text{ген}} \\ Q_{\max} \geq Q \geq Q_{\min} \end{cases} \quad (10)$$

Для решения задачи используются метод неопределенных множителей Лагранжа.

В формулах (10):  $\dot{Q}'_3$  - вектор-столбец входных реактивных мощностей на вводах нагрузочных узлов подсистемы, в которых предусматривается установка КУ, МВАр;  $\dot{Q}_H$  - вектор реактивных нагрузок узлов, в которых по разным причинам установка КУ не

предусматривается, МВАр;  $\dot{R}$  - диагональная матрица активных сопротивлений входных ветвей в узлы, в которых предусматривается установка КУ, Ом;  $n$  - количество узлов подсистемы, в которых предусматриваются (или имеются КУ);  $\dot{R}'$  - тоже, но в которых не предусматривается установка КУ, Ом;  $m$  - количество узлов подсистемы, в которых отсутствует КУ;  $\lambda$  - коэффициент Лагранжа.

Исходя из условий  $\partial F / \partial Q_{\Sigma}' = 0$  и  $\partial F / \partial \lambda = 0$ , находим

$$\dot{Q}_{\Sigma}' = \frac{U_H^2 \cdot 10^3}{2} \cdot (\dot{P} \cdot \dot{R} \cdot \dot{P}_t)^{-1} \cdot \dot{n} \cdot \lambda, \quad (11)$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{U_H^2} \cdot \frac{(Q_{\Sigma}' - \dot{n}_t \cdot \dot{Q}_H)}{\dot{n}_t (\dot{P} \cdot \dot{R} \cdot \dot{P}_t)^{-1} \cdot \dot{n}}, \quad (12)$$

Учитывая, что  $\dot{n} = -\dot{C}_{pt} \cdot \dot{M}_p \cdot \dot{C}_p = 1$ ,  $(\dot{C}_{pt})^{-1} = (\dot{C}_{pt}^{-1})_t$ .

формулы (11) и (12) приобретают следующий вид

$$\dot{Q}_{\Sigma}' = \frac{U_H^2 \cdot 10^3}{2} \cdot \dot{M}_p \cdot \dot{Y} \cdot \dot{M}_{pt} \cdot \dot{n} \cdot \lambda, \quad (13)$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{U_H^2} \cdot \frac{(Q_{\Sigma}' - \dot{n}_t \cdot \dot{Q}_H)}{\dot{n}_t \cdot \dot{M}_p \cdot \dot{Y} \cdot \dot{M}_{pt} \cdot \dot{n}}, \quad (14)$$

где  $\dot{Y}$  - матрица проводимости ветвей.

После определения матрицы  $\dot{Q}_{\Sigma}'$  и выявления невыполнения в некоторых узлах технического ограничения неотрицательности мощности КУ (форм. 10), входные реактивные мощности в эти узлы приравняются к реактивным нагрузкам ( $Q_{\Sigma i}' = Q_{H i}$ ) количество этих узлов прибавляется до числа  $m$  и расчеты повторяются до тех пор, пока ограничение (10) не будет выполняться во всех узлах.

Далее последовательно проводится проверка выполнения остальных технических ограничений (по  $U$ ,  $I$  и  $Q$ ) и, при необходимости, корректировка величин  $Q_{\Sigma i}'$ .

При наличии информации учитываются фактические уровни напряжения в узлах путем введения поправочных коэффициентов

$$U_i = \frac{U_H}{U_i^*}, \quad (15)$$

в матрицу сопротивления ветвей  $\dot{R}$  и расчеты по определению  $Q_{\Sigma i}'$  повторяются ( $U_H$ ,  $U_i$  - номинальное и фактическое напряжение в узлах).

Суммарные мощности КУ в нагрузочных узлах подсистемы определяются из выражений

$$\dot{Q}_{\text{КУ}} = \dot{Q}_{\text{Н}} - \dot{Q}_{\text{Э}} \quad \text{или} \quad Q_{\text{КУ}} = Q_{\text{Н}} - Q_{\text{Э}} \quad , \quad (16)$$

Наряду с определением входной реактивной мощности (ВРМ) для сетей подсистемы и ее узлов (на основе системного подхода) предложено также определять ВРМ с позиции отдельного потребителя. Такой подход позволяет оценить эффективность КРМ в сетях потребителя и его вклад в снижение потерь электроэнергии в энергосистеме, а также экономически обосновать в ряде случаев более низкую ВРМ по сравнению с величиной, заданную энергосистемой. В работе излагается метод решения данной задачи с уточнениями автора.

Для достижения наибольшего экономического эффекта от КРМ помимо определения мощности КУ и оптимального их размещения необходимы средства оптимального управления КУ, обеспечивающие требования энергосистемы к потреблению реактивной мощности (РМ) из ее сети, минимизацию потерь в сетях во всех возможных режимах электропотребления, максимально возможное использование КУ для снижения потерь, учет особенностей проектируемых и действующих сетей (отсутствие КУ в некоторых узлах, наступление нестабильных режимов электропотребления, изменение количества КУ в процессе управления и т.д.).

Проведенный анализ известных способов и технических средств управления КУ, используемых в настоящее время на предприятиях, показал, что они не удовлетворяют отмеченным выше требованиям).

На кафедре электроснабжения ВГУ предложено способ управления БК с помощью группы специальных локальных регуляторов универсального назначения, что обусловило их аппаратное усложнение. Исследования показали, что более обоснованным является разработка комплекса технических средств локального управления (от простых до более сложных), в зависимости от конкретных условий их применения.

Разработано устройство управления БК, предназначенное для узлов с повторяющимся суточным графиком реактивной нагрузки. С помощью группы таких устройств осуществляется минимизация потерь в сетях.

Для этого определяются оптимальные (из условия минимальных потерь) уставки по входной реактивной мощности для устройств в узлах для различных временных периодов (зон) суток. Для определения уставок используется следующая математическая модель:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P = 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{Q_{Эij}^2 \cdot r_i}{U_{Нij}^2} \rightarrow \min \\ Q_{Эj} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_{Эij} \\ Q_{Эij} \leq Q_{Нij} \\ I \leq I_{\text{дон}}, U_{\text{min}} \leq U \leq U_{\text{max}}; Q_{\text{min}} \leq Q \leq Q_{\text{max}}. \end{array} \right. \quad (17)$$

Функция Лагранжа :

$$F = 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{Q_{Эij}^2 \cdot r_i}{U_{Нij}^2} + \lambda \cdot (Q_{Эj} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_{Эij}), \quad (18)$$

Из условий  $\partial F / \partial Q_{Эij} = 0$  и  $\partial F / \partial \lambda = 0$  находим

$$Q_{Эij} = \frac{\lambda_i \cdot U_{Нij}^2}{2 \cdot 10^{-3} \cdot r_i}, \lambda_j = \frac{Q_{Эj}}{\frac{1}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{U_{Нij}^2}{r_i}}, \quad (19)$$

В формулах (17) + (19);  $Q_{Эij}$  - входная реактивная мощность в  $i$ -м узле в  $j$ -м временном суточном периоде;  $Q_{Эj}$  - входная реактивная мощность, заданная энергосистемой для  $j$ -го периода суток;  $U_{Нij}$  - номинальное или фактическое среднее напряжение в  $i$ -м узле в  $j$ -м временном периоде суток.

Помимо уставок по ВРМ  $Q_{Эij}$  определяются также уставки по количеству секций БК (NC). Заданные уставки в каждом узле  $Q_{Эij}$  поддерживаются путем включения или отключения секции БК. При этом реализуется следующая модель управления

$$(T_j^H \leq t \leq T_j^K) \Rightarrow N(t) = N_j, \quad (20)$$

где  $t$  - текущее время суток,  $T_j^H$  - начало  $j$ -го временного периода;  $T_j^K$  - конец  $j$ -го временного периода;  $N(t)$  - количество секций БК, включенных в момент времени  $t$ ;  $N_j$  - заданное количество секций БК (уставка) для  $j$ -го временного периода.

В работе представлены структурные блок-схемы устройства, выполненные на основе элементов вычислительной техники и однокристалльной микро ЭВМ, описаны принципы работы устройства и блок-схемы алгоритма цикла управления мощностью БК.

В электрических сетях промышленных предприятий и энергосистем преобладают узлы с изменяющимися во времени суточными графиками активных и реактивных нагрузок.

Для таких узлов разработано устройство управления мощностью БК по параметру "Q" или "U". Для определения уста-

вок используется математическая модель, изложенная выше (форм. 17 - 19).

Мощность БК, которая должна быть в момент времени  $t$  в  $i$ -м узле в  $j$ -м режиме ( модель управления ):

$$Q_{Kij}(t) = Q_{Kij}(t-1) + (Q_{Фij}(t) + Q_{Эij}) , \quad (21)$$

или

$$Q_{Kij}(t) = Q_{Kij}(t-1) + \Delta K_{ij}(t) , \quad (22)$$

где  $Q_{Kij}(t)$  - мощность БК, которая должна быть в момент времени  $t$ ;  $Q_{Kij}(t-1)$  - мощность БК в предыдущий момент времени  $t-1$ ;  $Q_{Фij}(t)$  - фактическая реактивная нагрузка  $i$ -го узла в момент времени  $t$ ;  $\Delta K_{ij}(t)$  - мощность секции БК, которую необходимо включить или отключить в  $i$ -м узле в момент времени  $t$ .

При управлении по параметру  $Q$  или  $U$  регулятор не срабатывает, если эти параметры находятся в допустимых пределах, т.е.

$$\left. \begin{array}{l} 0.95U_H < U_{ij} < 1.1U_H \\ Q_{Эij}^H < Q_{ФЭij} < Q_{Эij}^B \end{array} \right\} Y_{\text{вых}} = 0, \quad (23)$$

и срабатывает, если выходят за допустимые пределы, т.е.

$$\left. \begin{array}{l} U_{ij} > 1.1U_H \text{ или } U_{ij} > 0.95U_H \\ Q_{Фij} > Q_{Эij}^B \text{ или } Q_{Фij} < Q_{Эij}^H \end{array} \right\} Y_{\text{вых}} = 1, \quad (24)$$

При этом регулятор включает секцию БК при  $Q_{Фij} > Q_{Эij}^B$  или  $U_{ij} < 0.95U_H$  и отключает при  $Q_{Фij} < Q_{Эij}^H$  или  $U_{ij} > 1.1U_H$ .

В работе приведены структурные блок-схемы устройства на основе аналоговой и цифровой вычислительной техники и ОМЭВМ, а также блок-схема алгоритма цикла управления.

С помощью предложенных группы устройств локального действия решаются проблемы минимизации потерь в сетях и обеспечения требований энергосистемы к потреблению реактивной мощности из ее сети. При этом не требуются линии связи. Однако в ряде случаев выполнение этих функций осуществляется с некоторым приближением (при наступлении, например, нестабильных и маловероятных режимов электропотребления). Отсутствует также возможность уменьшать ошибку управления, вызванную дискретностью управления и накопленную на вводе предприятия. Системы централизованного управления лишены этих недостатков. Кроме того, они наиболее эффективны на крупных предприятиях (при большом количестве КУ).

Разработан способ и система централизованного автоматического управления БК с учетом их неустановки в ряде узлов или изменения и количества в процессе управления и использования

для корректировки уставок итеративной процедуры. Для этого в устройстве предусмотрен задатчик признака узлов. Узлам, в которых невозможна установка или управление БК, присваивается особый признак

$$Q_{Эi} = Q_{\Phi i} \quad \text{или} \quad Q_{Ki} = 0, \quad (25)$$

Для определения уставок используется изложенная выше методика (форм. 17-19). Если в отмеченных выше узлах условие (25) не выполняется (т.е.  $Q_{\Phi i} > Q_{Эi}$ ) или  $Q_{Ki} > 0$ , то сопротивление линий, которыми питаются эти узлы, в расчетах условно уменьшают до величин, при которых в эти узлы распределяются реактивные мощности, равные реактивным нагрузкам (т.е.  $Q_{Эi} = Q_{\Phi i}$ ).

Если при проверке остальных узлов окажется, что в некоторых из них имеет место нестабильный режим ( $Q_{\Phi i} < Q_{Эi}$ ) при всех выключенных секциях БК или маловероятный режим ( $Q_{\Phi i} > Q_{Эi}$ ) при всех включенных секциях БК, то активное сопротивление питающих линий в расчетах в первом случае условно увеличивают, а во втором - условно уменьшают до величин при которых в эти узлы распределяются реактивные мощности, равные реактивным нагрузкам (т.е.  $Q_{Эi} = Q_{\Phi i}$ ). Для вычислений используется итеративная процедура

$$r_{i(n+1)} = r_{in} \cdot \frac{Q_{Эin}^2}{Q_{\Phi i}^2}, \quad (26)$$

где  $r_{in}$  - активное сопротивление  $i$ -й линии при  $n$ -й итерации.

Корректировка сопротивлений входных ветвей и, соответственно, потокораспределения реактивной мощности в сети во всех случаях осуществляется до тех пор, пока у всех узлах не будет выполняться условие (25).

В работе предоставлены структурная блок-схема системы, описание принципа ее работы и блок-схема алгоритма цикла управления.

В разных отраслях на многих предприятиях используются синхронные двигатели (СД). Часто мощности достаточно для компенсации реактивной нагрузки всего предприятия. Предложены способ и система централизованного управления реактивной мощностью предприятия группой СД, включающие методы определения уставок для группы СД на вводе предприятия и первоначальных уставок и добавок генерации реактивной мощности для каждого СД в процессе управления, структурную блок-схему устройства, математическую модель и блок-схему алгоритма цикла управления СД (автор защищает последние три составляющие

совместного выполнения работы).

Управление возбуждением группы СД осуществляется по реактивной мощности на вводах предприятия.

Математическая модель управления возбуждением СД имеет вид:

$$\begin{cases} (p_i = 0) \Rightarrow Q_{ij}^n = 0 \\ (P_{i-1}, Q_{\Phi j}(\Delta t) < Q_{уст. j}) \Rightarrow Q_{ij}(t + \Delta t) = Q_{ij}^n - \Delta Q_{ij} \\ (P_{i-1}, Q_{\Phi j}(\Delta t) = Q_{уст. j}) \Rightarrow Q_{ij}(t + \Delta t) = Q_{ij}^n \\ (P_{i-1}, Q_{\Phi j}(\Delta t) > Q_{уст. j}) \Rightarrow Q_{ij}(t + \Delta t) = Q_{ij}^n + \Delta Q_{ij} \end{cases}, \quad (27)$$

где  $Q_{ij}^n$  - первоначальная уставка для  $i$ -го СД в  $j$ -м режиме электропотребления;  $Q_{\Phi j}(\Delta t)$  - фактическая реактивная мощность на вводе предприятия за период  $\Delta t$  в  $j$ -м режиме электропотребления ( $\Delta t$  - период цикла управления);  $Q_{ij}(t + \Delta t)$  - реактивная мощность, которую должен генерировать  $i$ -й СД в  $j$ -м режиме электропотребления после осуществления цикла управления  $\Delta t$ ;  $\Delta Q_{ij}$  - увеличение или уменьшение генерации реактивной мощности для  $i$ -го СД в  $j$ -м режиме электропотребления (при наличии отклонения на вводе предприятия величины  $Q_{\Phi j}(\Delta t)$  от  $Q_{уст. j}$ ).

В работе приводятся методы определения уставок и добавок, структурная блок-схема и блок-схема алгоритма цикла управления возбуждением СД.

На многих предприятиях СД сосредоточены в одном месте (например, на компрессорной станции) и получают питание от ГПП или ЦРП. Для КРМ используются также БК напряжением до и выше 1000 В. В этом случае целесообразно применить способ комбинированного (раздельного управления) КУ, суть которого излагается в работе. В работе излагаются также методы оценки эффективности и погрешности расчетов КРМ и управления КУ.

### Основные выводы и результаты работы

В диссертационной работе решена актуальная научная задача - повышение эффективности компенсации реактивной мощности и управления КУ. Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы и получить научные и практические результаты:

1. Известные методы расчета КРМ не учитывают ряд факторов, оказывающие существенное влияние на результаты расчетов (снижение мощности трансформаторов и ЛЭП или отдаления сроков их реконструкции, учет потерь в сетях до 1000В, при-

менение индивидуальной компенсации и т.д.), что приводит к занижению степени КРМ в электрических сетях.

2. Большинство из рассмотренных методов расчета оптимальной КРМ предназначены для замкнутых сетей, отличаются сложностью и недоступностью для персонала энергосистем и потребителей и поэтому не нашли широкого применения в проектной и эксплуатационной практике.
3. В настоящее время для управления БК применяются в основном устройства локального действия, не отвечающие современным требованиям. Не применяется оптимальное (по критерию минимальных потерь) управление действующими КУ, большая часть БК является нерегулируемой. По этим причинам не реализуются возможности дополнительного снижения потерь в сетях.
4. Известные методы оценки эффективности и погрешности расчета КРМ и управления КУ не учитывают изменений в нормативных документах и новых подходов к расчету КРМ и управлению КУ.
5. Уточнены требования к расчету КРМ и управлению КУ.
6. Разработаны методы определения входной реактивной мощности для сетей подсистем и отдельных ее узлов, отличающиеся от известных относительной простотой и большей точностью (за счет учета дополнительных факторов и особенностей компенсации в конкретных сетях);
7. Уточнен метод определения входной РМ с позиции отдельного потребителя;
8. Разработаны и усовершенствованы способы и технические средства автоматического управления КУ:
  - локального управления БК для узлов с повторяющейся конфигурацией суточного графика реактивной нагрузки;
  - централизованного управления КУ с учетом особенности КРМ и управления в действующих сетях;
  - локального управления БК для узлов с изменяющейся конфигурацией суточного графика реактивной нагрузки и параметрами управления " $Q$ " или " $U$ ";
  - централизованного управления реактивной нагрузкой предприятия группой СД.
9. Разработаны и уточнены методы и критерии оценки эффективности и погрешности расчетов КРМ и управления КУ с учетом требований нормативных документов и новых подходов к расчету и управлению КУ;

10. Разработаны пакеты программ расчета КРМ на ПЭВМ ( на языке Турбо-Паксаль, 6-я версия ) и управления БК с помощью локальных регуляторов ( на языке "Ассемблер");
11. Предложенная автором структура устройства локального действия с параметрами управления "Q" или "U" положена в основу создания экспериментальных образцов на кафедре электроснабжения ВГТУ . Результаты исследований использованы также при написании учебного пособия по курсу электроснабжение.

**Публикации.** По результатам проведенных исследований опубликовано 8 печатных работ.

1. Рогальский Б.С., Хаддад Бассам Турки. Методи і критерії розподілу компенсуючих установок в електричних мережах підприємств // Вісник ВПІ. - 1994.-№3.-С.45-49.
2. Рогальский Б.С. , Непийвода В.М. Хаддад Бассам Турки. Автоматичне управління реактивним навантаженням підприємства групою синхронних двигунів // Вісник ВПІ №4 (5) , 1994.-С.28-33.
3. Рогальский Б.С., Хаддад Бассам Турки. Алгоритм розрахунку вхідної реактивної потужності в вузлах енергосистеми і споживачів електроенергії // Вісник ВПІ. 1996, №1-2,С.41-49.
4. Хаддад Бассам Турки, Рогальский Б.С. Спосіб автоматичного управління батареями конденсаторів // Вісник ВПІ. - 1996.-№3.-С.55-57.
5. Хаддад Бассам Турки , Броніслав Рогальский. Методика визначення вхідної реактивної потужності в мережах енергосистеми і споживачів електроенергії // В зб. "Математичне моделювання в електротехніці і електроенергетиці" (1-а міжнародна науково-технічна конференція. Україна, Львів, вересень 1995).
6. Рогальский Б.С., Непийвода В.М., Хаддад Бассам Турки. Учет нестабильных режимов электропотребления и отсутствия или изменения количества источников реактивной мощности при управлении ими // В сб. "Контроль и управление в технических системах" (3-я международная научно-техническая конференция. Украина, Винница , IX. 1995).
7. Рогальский Б.С., Непийвода В.М., Хаддад Бассам Турки. Методы оценки точности и эффективности автоматического управления компенсирующими установками. // В сб. "Контроль и управление в технических системах", (3-я международная научно-техническая конференция. Украина, Винница, IX. 1995).

8. Рогальский Б.С., Слободян Р.А., Хаддад Бассам Турки. Алгоритм і програма розрахунку оптимальної компенсації реактивної потужності в електричних мережах енергосистем і споживачів. Деп. в УкрНТЕІ, Київ, 14.01.97. № 42-Ун-97.

**Личный вклад автора.** В работах, написанных в соавторстве, автору принадлежат: 1. Общий алгоритм поэтапного расчета оптимальной КРМ в электрических сетях подсистемы [3, 8]; 2. Уточнение методов определения и корректировки входной реактивной мощности для сетей подсистемы и с позиции отдельного потребителя с учетом ряда особенностей проектируемой или действующей сети [3, 5]; 3. Разработка структурной блок-схемы устройства и алгоритма централизованного управления БК с учетом особенностей КРМ и управления в действующих сетях [4, 6]; 4. Разработка структурной блок-схемы устройства и алгоритма централизованного управления реактивной мощностью предприятия группой СД [2]; 5. Уточнение методов и критериев оценки эффективности и погрешности автоматического оптимального управления КУ [1, 7].

### АННОТАЦИЯ

ХАДДАД БАССАМ ТУРКИ ЯКОБ

“Разработка методов расчета компенсирующих установок и технических средств управления ими”, рукопись на соискание ученой степени кандидата технических наук.

05.09.03. “Электротехнические комплексы и системы, включая их управление и регулирование”.

Винницкий государственный технический университет .

Винница 1997.

В диссертации решались следующие задачи:

1. Проведен анализ известных методов расчета КРМ и технических средств управления КУ, уточнены требования к методам расчета и средствам управления КУ;
2. Разработаны общий алгоритм и программа расчета КРМ, методы определения входной реактивной мощности для сетей подсистемы и ее узлов;
3. Разработан комплекс технических средств управления КУ.
4. Предложены методы оценки эффективности и погрешности расчетов КРМ и управления КУ.

## ABSTRACT

"Development of the methods for account of the Compensating installations ( aims ) and means of a managment by them " a manuscript to awarde the degree of Candidat of technical Sciences.

05.09.03 " Electrotechnical complexes and systems including their control and regulation.

National Technical University of Ukraine " Kyiv Politechnic Institute " kyiv 1997.

The main ideas and results are :

1. Analysis of known methods of the CRP account is conducted and means of a management KY reguests to method of account and facilities KY are specified.
2. Development of a general algorithm and program of the CRP account, methods of determination of a input reactive power for networks of a subsystem and its units;
3. The complex of technical means of a KY management is developed.
4. Methods of efficiency valuation and error CRP account and Ky management are offered.

**Ключові слова:** компенсація, реактивна потужність, компенсуючі установки, оптимальне управління, ефективність, погрішність.

436027

AB 37.463