

КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

АБУ ХАДИД САЛАХ МУСТАФА
(Иордания)

УДК 621.311.153

**КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ
ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ОБЪЕКТОВ**

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

КИЕВ — 1993

021.37

ЛНБ ім. В. Стефаника

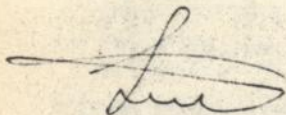


00330615 (I)

46-28220

КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи



АБУ ХАДИД САЛАХ МУСТАФА

/ Иордания /

УДК 621.311.153

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

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

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев - 1993

АВ 28.228

Работа выполнена на кафедре электроснабжения Киевского политехнического института.

Научный руководитель

- доктор технических наук,
профессор, академик Академии
инженерных наук Украины
ПРАХОВНИК А.В.

Официальные оппоненты

- доктор технических наук
ЗАБЕЛЛО Е.П.
- кандидат технических наук,
доцент ЯНДУЛЬСКИЙ А.С.
- Киевский проектный и проект-
но-конструкторский институт
"Киевпромэлектропроект"

Ведущая организация

Защита состоится "8" 11 1993 г. в 15 часов
на заседании специализированного совета К 068.14.01 в Киевском
политехническом институте, корп. 22, ауд. 503.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные пе-
чатью учреждения, просим направлять по адресу: 252056, Киев-
56, проспект Победы, 37, КПИ, Ученому секретарю.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского
политехнического института.

Автореферат разослан "7" 10 1993 г.

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

 Д.И. Шульга

АННОТАЦИЯ

Целью настоящей работы является исследование и разработка методов и средств контроля параметров электропотребления, направленных на рациональное потребление электрической энергии промышленными объектами.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать подходы к повышению точности контроля параметров электропотребления.
2. Выбрать и обосновать метод контроля потребления электроэнергии.
3. Синтезировать основные блоки средств контроля показателей качества электрической энергии.
4. Разработать и исследовать средства контроля количественных параметров электропотребления, удовлетворяющих требованиям необходимой точности и функциональной завершенности.
5. Разработать и исследовать средства контроля показателей качества электроэнергии.

Автор защищает следующие основные положения:

1. Подход к повышению точности контроля параметров электропотребления, основанный на оценке временных интервалов между числоимпульсными сигналами.
2. Применение селективной адаптивной модели для прогнозирования электропотребления.
3. Аналитическое конструирование и коррекцию погрешностей фильтров симметричных составляющих.
4. Принципы построения и структурные схемы технических средств контроля количественных параметров электропотребления и основных показателей качества электроэнергии.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Увеличение удельного веса коммунально-бытового и сельскохозяйственного электропотребления, односменный режим работы промышленных объектов приводит к всевозрастающей неравномерности графиков нагрузок энергосистем. Такая тенденция является общей для всех стран, включая Украину и Иорданию. Для покрытия пиков нагрузок энергосистем требуется соответствующая генерирующая мощность. Число часов использования

этой мощности невелико, поэтому затраты на нее малоэффективны.

Согласование вопросов производства и потребления электроэнергии осуществляется с помощью системы тарифов. Однако решение этой задачи возможно только при организации соответствующего контроля.

Другой важной задачей является контроль показателей качества электроэнергии (КЭ). Ухудшение качества отрицательно влияет на работу потребителей и всей энергосистемы.

Учитывая важность данной задачи применяется система скидок и надбавок тарифу за качество электроэнергии. При этом данная система скидок и надбавок увязана с системой тарифов за потребление электроэнергии.

Таким образом задача совместного контроля количественных и качественных параметров электропотребления является актуальной.

Методы исследования. При решении поставленных задач используются принципы системного подхода, элементы теории информации и потенциальной помехоустойчивости, линейной алгебры, теории вероятности и математической статистики.

Научная новизна. Предложен подход к повышению точности контроля параметров электропотребления, основанный на оценке временных интервалов между числовыми импульсными сигналами. Обосновано применение селективной адаптивной комбинированной модели прогнозирования параметров электропотребления. Предложено каскадное включение канонических фильтров симметричных составляющих, инвариантных к девиации частоты напряжения сети. Разработаны принципы построения и структурные схемы технических средств контроля параметров электропотребления.

Практическая ценность. Применение разработанных методов и средств позволяет эффективно осуществить контроль количественных и основных качественных параметров электропотребления, что приводит к расширению функциональных возможностей систем контроля электропотребления и к повышению рациональности потребления электроэнергии промышленными объектами.

Реализация результатов работы. Результаты исследований использованы в научно-исследовательских разработках НИИ "Энергия", выполненных при участии автора.

Апробация результатов работы. Результаты исследований, полученные в диссертационной работе, обсуждались на научно-техни-

ческих конференциях общества "Знание" Украины, Киевского политехнического института и научных семинарах кафедры электроснабжения КИИ.

Публикации. По результатам работы опубликовано 5 работ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 119 наименований и приложения. Основной текст содержит страниц машинописного текста, иллюстрированного 34 рисунками.

В первой главе проведен анализ состояния и перспектив развития средств и методов контроля параметров электропотребления, сформулирована цель и определены задачи исследований.

Во второй главе на основании проведенных исследований предложен подход к повышению точности контроля параметров электропотребления, основанный на оценке временных интервалов между числоимпульсными сигналами; на основании проведенного анализа выбран контроль параметров электропотребления по методу движущейся средней с прогнозом параметров; обосновано применение селективной адаптивной модели для прогнозирования электропотребления.

В третьей главе рассмотрены вопросы аналитического конструирования фильтров симметричных составляющих (ФСС), инвариантных к девиации частоты напряжения сети, которые предложено строить на основе каскадного включения нескольких канонических ФСС и частотно-зависимых корректирующих звеньев.

В четвертой главе предложены принципы построения и структурные схемы технических средств контроля электропотребления, параметров качества электроэнергии, включая напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей, коэффициента несинусоидальности и отклонения частоты.

В приложении приведены результаты обработки статистических данных, алгоритмы и документы, подтверждающие использование результатов работы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Существующая неравномерность графиков энергетических систем, ухудшение показателей качества электроэнергии порождают ряд технико-экономических задач.

Для стимулирования выравнивания графиков нагрузок, улучшения ПЭС применяется система тарифов, практическая реализация

которой невозможна без организации соответствующего контроля. Это объясняет большое разнообразие технических средств, предназначенных как для контроля расходов электроэнергии, так и для контроля ПКЭ.

Анализ известных технических решений позволил обосновано выбрать структуру системы контроля параметров электропотребления. В то же время показано, что при всем разнообразии измерительных преобразователей (ИП) количественных и качественных параметров электропотребления, входящих в состав систем, они имеют ограниченные функциональные возможности. Поэтому целесообразным является разработка таких технических измерительных преобразователей, которые, с одной стороны, являлись бы датчиками для систем более высокого уровня, а, с другой стороны, функционально законченными устройствами. Это влечет за собой решения ряда задач таких как: повышение точности контроля параметров электропотребления; выбор и обоснование методов контроля и прогнозирования электропотребления; конструирование технических средств контроля электропотребления и показателей качества электроэнергии.

В существующих системах контроля электропотребления данные представляются в виде последовательности импульсов, пропорциональных расходу электроэнергии. Импульсы фиксируются в устройстве обработки информации. При этом точность контроля зависит от частоты поступления импульсов и от интервала времени, за который представляется необходимая информация. Учитывая, что частота поступления импульсов зависит от скорости вращения диска электросчетчика, погрешность определения расхода электроэнергии на фиксированных интервалах τ может достигать значительных величин.

В работе предложен подход к повышению точности контроля, основанный на оценке временных интервалов между числоимпульсными сигналами. Сущность подхода иллюстрирована рисунком 1.

Расход электроэнергии на фиксированных интервалах τ определяется из выражения

$$W_i = K \left[(N-1) + \frac{t_i^1}{t_{i-1}} + \frac{t_i - t_{i+1}^1}{t_i} \right], \quad (1)$$

где $K = K_{\tau\tau} K_{\tau\tau} C_i$ — постоянный квант электроэнергии,
 $(K_{\tau\tau}, K_{\tau\tau})$ — коэффициенты трансформации трансформаторов тока и

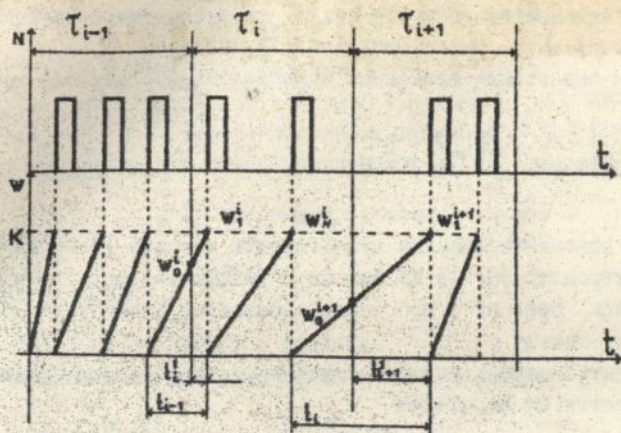


Рис.1

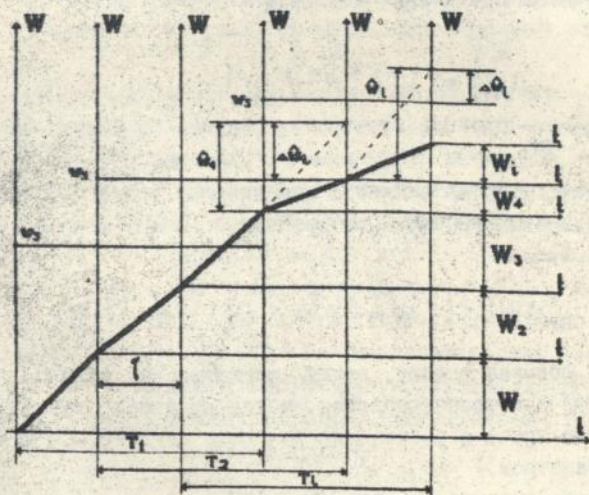


Рис.2

напряжения, C_i - цена в кВтч i -го импульса - величина обратная количеству оборотов диска электросчетчика на 1 кВтч электроэнергии), N - число импульсов за интервал τ .

При оценивании временных интервалов используется выражение

$$\hat{t}_{i+1} = \left(\sum_{i=1}^N t_i^N + \hat{t}_i \right) - \tau, \quad (2)$$

где \hat{t}_i - оценка (прогноз) интервала t_i .

На основании анализа существующих методов контроля параметров электропотребления обоснован и выбран контроль по методу движущейся средней с прогнозом параметров электропотребления (рис.2).

Электропотребление на каждом из интервалов контроля определяется из выражения

$$W_T^i = (W_T^{i-1} + W_{N+i}) - W_{i-1}, \quad (3)$$

где $N = T/\tau$ - количество подинтервалов контроля длительностью τ .

С учетом прогнозных значений

$$\hat{W}_T^i = (W_T^{i-1} + \hat{W}_{N+i}) - W_{i-1}, \quad (4)$$

где \hat{W}_T^i - прогноз электропотребления на каждом из интервалов контроля T_i .

Целью контроля является определение рассогласования между заданным значением электропотребления W_j и ее прогнозной оценкой, т.е.

$$\Delta \hat{W}_i = [(W_T^{i-1} + \hat{W}_{N+i}) - W_{i-1}] - W_j \quad (5)$$

Как показал анализ, ввиду специфических условий контроля параметров электропотребления, метод прогнозирования должен быть достаточно прост в реализации и хорошо адаптирован к изменению этих параметров.

Модель прогнозирования представляется в виде

$$\hat{W}_\tau(t) = \hat{a}_t, \quad (6)$$

где \hat{a}_t - текущие оценки коэффициента модели, которые находятся из выражения

$$\hat{a}_t = S_t = \alpha x_t + \beta S_{t-1}, \quad (7)$$

где S_t - экспоненциальная средняя, $0 < \alpha \leq 1$ - постоянная сглаживания, x_t - текущее значение параметра, $\beta = 1 - \alpha$.

Для адаптации постоянной сглаживания α используется выражение

$$\alpha_t = \left| \frac{Q_t}{\Delta_t} \right|, \quad (8)$$

в котором сглаженная ошибка прогноза Q_t и сглаженное абсолютное отклонение Δ_t определяются по формулам

$$Q_t = \gamma e_t + (1 - \gamma) Q_{t-1},$$

$$\Delta_t = \gamma |e_t| + (1 - \gamma) \Delta_{t-1},$$

где e_t - ошибка прогноза, $0 < \gamma \leq 1$ - постоянная сглаживания.

Суть адаптации заключается в том, что при увеличении ошибки прогноза значение α_t увеличивается, что повышает вес последнего наблюдения.

Исследования показали, что такая модель достаточно хорошо адаптируется к изменениям типа "скачок". В то же время изменения типа "импульс" обрабатываются с некоторой задержкой.

Для устранения указанного обстоятельства автором предложено применение адаптивной комбинированной модели (АКМ) селективного типа, в базовый набор которых входит несколько простых адаптивных моделей. В АКМ организован автоматический выбор по заданному критерию наилучшей модели из числа входящих в базовый набор.

В качестве такого критерия использован расчет экспоненциально сглаженного квадрата ошибок прогнозирования B_t . Переключение на данную модель происходит тогда, когда B_t данной модели минимален по сравнению с другими:

$$B_t = (1 - \alpha_B) B_{t-1} + \alpha_B e_t^2, \quad (9)$$

где $0 < \alpha_B \leq 1$ - параметр сглаживания, e_t - ошибка прогноза.

В работе проведено исследование двух моделей АКМ.

Первая включала три простых модели экспоненциального сглаживания, в которых $\alpha_1 = 0,1$; $\alpha_2 = 0,5$; $\alpha_3 = 0,9$.

Вторая модель включала модель экспоненциального сглаживания с адаптацией α_1 и две простых экспоненциальных моделей, в которых $\alpha_2 = 0,5$; $\alpha_3 = 0,9$.

Примеры расчетов показали, что среднеквадратичная ошибка прогнозирования при использовании АЧМ $\bar{e}^2 = 26,4$, в то время использование экспоненциальной модели с адаптацией α_t дало $\bar{e}^2 = 42,3$.

На основании анализа и проведенных исследований в работе разработан ряд технических средств контроля расходов электроэнергии и показателей качества электроэнергии (ПКЭ).

Важнейшим звеном устройств изменения и контроля ПКЭ являются первичные измерительные преобразователи — ФСС, осуществляющие выделение (фильтрацию) симметричных составляющих из исходной системы напряжений трехфазной сети.

Существующие ФСС обладают рядом недостатков, к наиболее существенным из которых следует отнести зависимость их характеристик от частоты напряжения сети. В этой связи в работе была рассмотрена задача аналитического конструирования ФСС, инвариантных к девиации частоты сети.

Доказано, что системная матрица идеального ФСС (как прямой, так и обратной последовательности) представляет собой циркумент.

Для идеального фильтра напряжения прямой последовательности (НПШ) системная матрица может быть факторизована в виде

$$A_+ = U \Lambda_+ U^* \quad (10)$$

где

$$U = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & e^{j\frac{2}{3}\pi} & e^{j\frac{4}{3}\pi} \\ 1 & e^{j\frac{4}{3}\pi} & e^{j\frac{2}{3}\pi} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix};$$

$$\Lambda_+ = \begin{bmatrix} e^{j\psi} & & \\ & 0 & \\ & & \lambda_0 \end{bmatrix}$$

Здесь $j = \sqrt{-1}$; $\Psi \in [0, 2\pi]$; λ_0 - произвольное комплексное число.

При отклонении частоты сети от номинального значения $f_0 = 50$ Гц системная матрица (Φ_+) канонического ЭСС НПП не совпадает с системной матрицей идеального фильтра.

Так, если ввести параметр

$$\varepsilon = \frac{f - f_0}{f_0}$$

- отклонение частоты напряжения сети, то Φ_+ можно представить в виде

$$\Phi_+ = A_+ - \varepsilon \frac{e^{j\frac{\pi}{6}}}{2\sqrt{3}} (I - J) + O(\varepsilon^2) \quad (II)$$

где I - единичная матрица размером 3×3 ;

$$J = \begin{bmatrix} 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & I \\ I & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$O(\varepsilon^2)$ - матрица (3×3), элементы которой имеют порядок малости ε^2 .

В работе показано, что для выделения НПП реальной сети достаточно использовать один канонический ЭСС и частотно-зависимое звено (корректор), с амплитудно-частотной характеристикой вида

$$\Psi_+ = \frac{1}{1 - \varepsilon \frac{e^{j\frac{\pi}{6}}}{2}} \quad (12)$$

Введение корректора, (построенного на основе аperiodического звена), в канонический ЭСС НПП позволяет снизить относительную погрешность измерения, вызванную отклонением частоты питающей сети в диапазоне 48...52 Гц, с 1,01% до 0,0001%.

Системная матрица идеального фильтра напряжения обратной последовательности (НОП) может быть факторизована в виде

$$A_- = U \begin{bmatrix} 0 & & \\ & e^{j\psi} & \\ & & \lambda_0 \end{bmatrix} U^* \quad (13)$$

Для канонического ФСС НОП имеет место разложение

$$\Phi_- = A_- - \varepsilon \frac{e^{j\frac{\pi}{3}}}{2\sqrt{3}} (I - J) + O(\varepsilon^2) \quad (14)$$

Так как НПП в реальных 3-х фазных сетях всегда значительно больше НОП, то одного канонического ФСС НОП недостаточно. Указанное препятствие можно обойти. Для этого достаточно последовательно каноническому фильтру НОП включить идентичный ФСС, соответствующим образом согласовав его с первым.

При этом системная матрица составного фильтра будет равна

$$\Phi_-^2 = \Phi_- \Phi_- = A_-^2 + \varepsilon \frac{e^{j\frac{\pi}{3}}}{\sqrt{3}} (I - J) A_- + O(\varepsilon^2) \quad (15)$$

В работе показано, что сигнал на выходе составного ФСС НОП во втором приближении не зависит от симметричной составляющей НПП входного сигнала.

Для коррекции АЧХ составного ФСС НОП следует использовать линейное звено с частотной характеристикой вида

$$\Psi_- = \frac{1}{|1 + \varepsilon e^{-j\frac{\pi}{3}}|} \quad (16)$$

Следует отметить, что данное звено является физически нереализуемым. Поэтому следует использовать физически реализуемое линейное звено (корректор), АЧХ которого в некотором смысле была бы близка к функции Ψ_- .

Показано, что в качестве корректора составного ФСС НОП может быть использовано линейное звено второго порядка и найдены его параметры, причем методическая погрешность измерения НОП в этом случае не превышает 0,003% (при девиации частоты напряжения сети в пределах 48...52 Гц).

Исходя из выбранной единой структуры системы контроля параметров электропотребления разработаны измерительные преобразователи контроля расхода электроэнергии и ЛЭЭ, являющиеся датчиками в данной системе и выполняющими функционально законченные действия локального применения.

На рис.3 представлена структурная схема измерительного преобразователя количественных параметров электропотребления, реали-

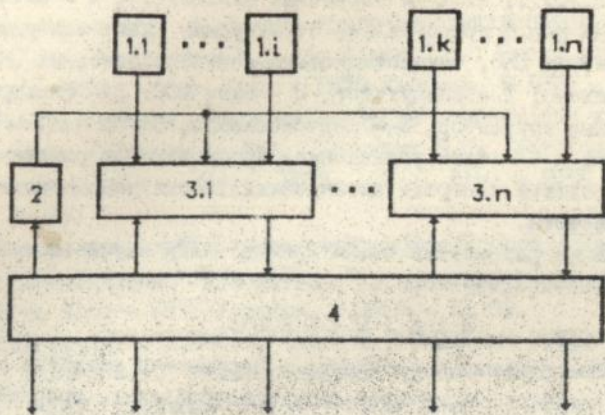


Рис. 3

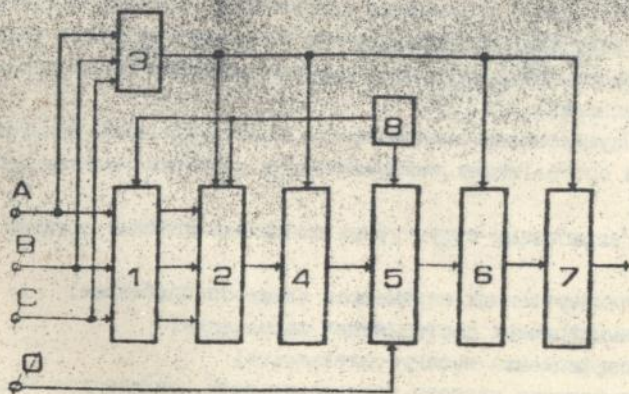


Рис. 4

зующего ранее рассмотренные подходы. В данном преобразователе: 1.1, ..., 1.71 - датчики расхода электроэнергии, 2 - блок управления, 3.1, ..., 3.71 - первичные накопители, 4 - вычислительный блок. На рис.4 представлена структурная схема измерительного преобразователя ПКЭ, осуществляющего контроль основных ПКЭ. На указанной схеме: 1 - коммутатор, 2 - блок ФСС, 3 - фильтр НН1, 4 - частотный корректор, 5 - переключатель, 6 - ФНЧ, 7 - измерительный блок и 8 - блок управления. Кроме того, в работе разработаны устройства контроля несинусоидальности напряжения и отклонения частоты.

Указанные разработки нашли применение в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах НИИ "Энергия".

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ состояния и перспектив развития методов и средств контроля параметров электропотребления, выбрана структура системы контроля параметров электропотребления.

2. Предложен подход к повышению точности контроля параметров электропотребления, основанный на оценке временных интервалов между числоимпульсными сигналами.

3. Обоснован контроль электропотребления по методу движущейся средней с прогнозом.

4. Обосновано применение селективной адаптивной комбинированной модели прогнозирования, что позволило получить более высокую точность по сравнению с другими методами краткосрочного прогнозирования.

5. Осуществлено аналитическое конструирование фильтров симметричных составляющих, инвариантных к девиации частоты напряжения сети.

6. Разработаны структурные схемы технических средств контроля:

- количественных параметров электропотребления;
- симметричных составляющих напряжения;
- коэффициента несинусоидальности;
- отклонения частоты напряжения сети, являющихся измерительными преобразователями в составе распределенной системы контроля параметров электропотребления.

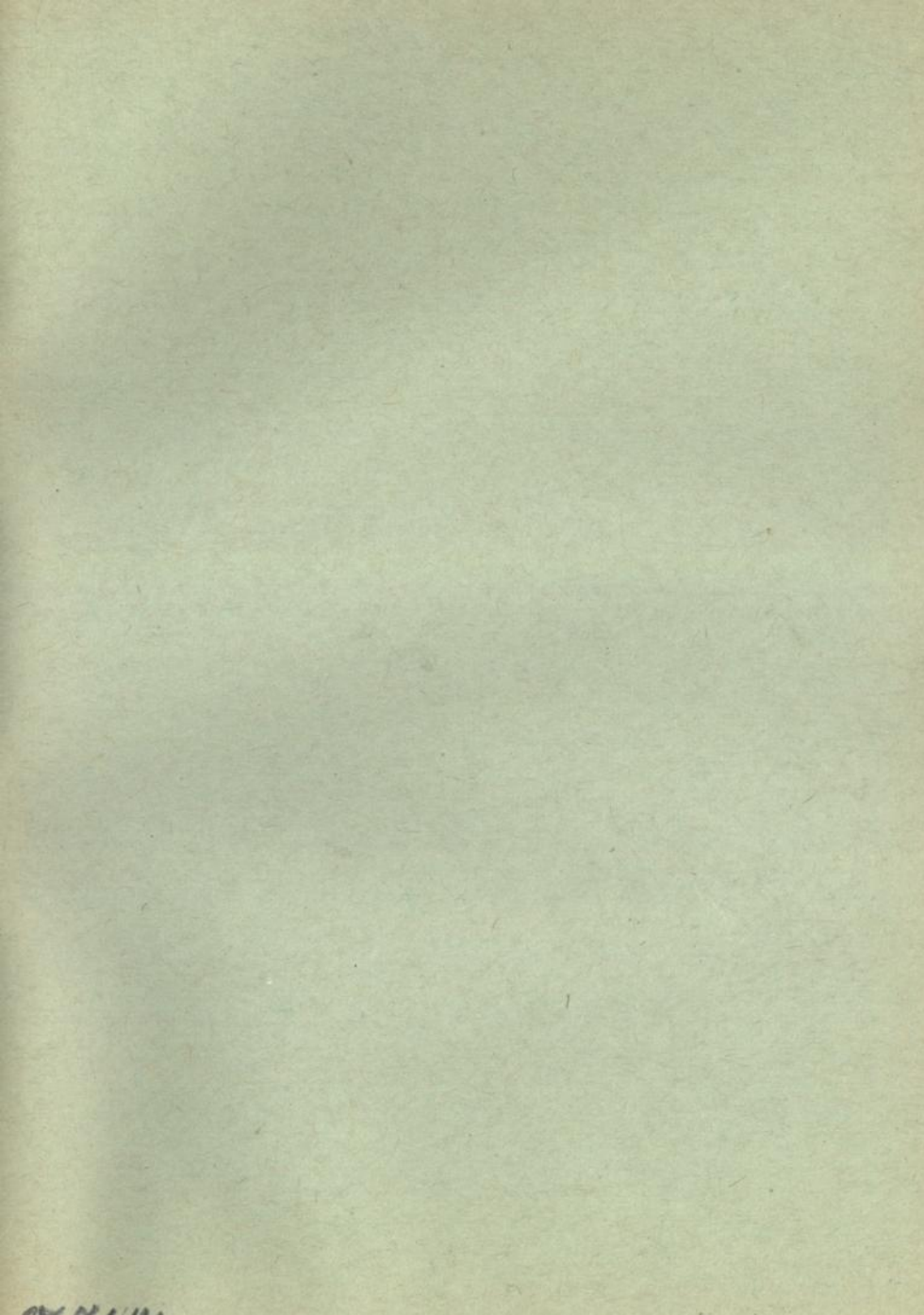
Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Анализ методов и средств контроля электропотребления / Праховник А.В., Калинчик В.П., Абу-Хадид С.М.: Киев. политехн. ин-т - Киев, 1993. - 7 с. Деп. в ГНТБ Украины, № 1837 - Ук 93.
2. Анализ методов и средств контроля показателей качества электроэнергии / Праховник А.В., Калинчик В.П., Абу-Хадид С.М.: Киев. политехн. ин-т. - Киев, 1993. - 9 с. Деп. в ГНТБ Украины, № 1836 - Ук 93.
3. Измеритель коэффициента несинусоидальности / Калинчик В.П., Абу-Хадид С.М., Петров А.А.: Киев. политехн. ин-т - Киев, 1993. - 7 с. Деп. в ГНТБ Украины, № 1833 - Ук 93.
4. Измеритель отклонения частоты / Калинчик В.П., Абу-Хадид С.М., Петров А.А.: Киев. политехн. ин-т. - Киев, 1993. - 6 с. Деп. в ГНТБ Украины, № 1834 - Ук 93.
5. Аналогоцифровое преобразование измеряемых параметров электропотребления / Калинчик В.П., Абу-Хадид С.М.: Киев. политехн. ин-т. - Киев, 1993. - 10 с. Деп. в ГНТБ Украины, № 1835 - Ук 93.

Автор

Абу Хадид С.м.





АВ 28.228