

**ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи

Айман Набхан

**ПЕРЕМНОЖИТЕЛИ СИГНАЛОВ С ЧИСЛО-
ИМПУЛЬСНЫМ ВЫХОДОМ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ**

Специальность: 05.13.08 - вычислительные машины, системы
и сети, элементы и устройства вычи-
слительной техники и систем управ-
ления

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Харьков - 1996



00339970 (V)

Дисертація являється рукописом

Робота виконана в Харківському державному автомобільно-дорожньому технічному університеті.

Научний керівник: доктор технічних наук, професор
Тырса Валентин Євстаф'євич

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, проф.
Шмалій Крій Семенович

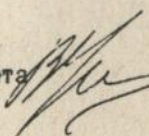
кандидат технічних наук, с. н. с.
Гунбін Михайл Володимирович

Ведущая організація: Харківський державний університет радіоелектроніки

Захита состоится "___" _____ 1996 г. в ___ ч. ___ м.
на засіданні спеціалізованого ученого совету Д 02.09.06 в
Харківському державному політехнічному університеті
(310002, г. Харків, ГСП, ул. Фрунзе 21).

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського Державного політехнічного університета.

Автореферат розослан "___" _____ 1996 р.

Учений секретар
спеціалізованого ученого совету  Кизілов В. У.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Среди электрических измерений измерения электрической мощности (ИЭМ) являются одними из основных видов измерений. На их основе строятся и измерители работы электрического тока. Особенность ИЭМ состоит в их двухканальности. Результаты мгновенного преобразования тока и напряжения в двух каналах для получения мгновенной мощности должны быть перемножены. Для получения работы электрического тока значения мгновенной мощности должны быть проинтегрированы. Разнообразие методов и средств осуществления операций преобразования, перемножения и суммирования при ИЭМ порождает множество методов и структур измерительных преобразователей мощности (ИПМ). Развитие современных автоматизированных систем учета и распределения электрической энергии потребовало разработки соответствующих технических средств, в конечном итоге цифровых измерительных преобразователей мощности (ЦИПМ). Традиционные средства построения ИПМ базируются на методах модуляции сигналов тока и напряжения с последующим аналоговым перемножением. Цифровой результат получается после измерения аналогового сигнала мощности цифровым вольтметром. Получение кодов тока и напряжения при помощи АЦП и последующее их перемножение в микропроцессоре пока не дает желаемой точности. Аппаратура получается малонадежной и дорогостоящей.

Однако, существуют методы дискретного преобразования исходных сигналов тока и напряжения при помощи средств модуляции. Перемножение дискретизированных сигналов можно осуществить сравнительно простыми время-импульсными способами. Это определило характер исследований.

Цель работы и задачи исследований

Цель работы состоит в анализе возможных путей и средств создания перемножителей мгновенных значений сигналов тока и напряжения с числоимпульсным выходом для построения цифровых измерительных преобразователей электрической мощности.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать потенциальную точность различных видов импульсной модуляции и выбрать для создания ЦИПМ наиболее подходящую пару модуляции тока и напряжения с точки зрения минимальной погрешности.

2. Исследовать путем моделирования на ПЭВМ методические погрешности ЦИПМ, использующего выбранную пару модуляции тока и напряжения.

3. Провести экспериментальные исследования путем создания цифрового статического счетчика электрической энергии и его натурных испытаний.

Методы исследований. При решении поставленных задач использованы методы теории информации, анализ погрешностей различных типов модуляции непрерывных процессов, методы компьютерного моделирования.

Научная новизна результатов, полученных в работе и выносимых на защиту, заключается в следующем:

- исследованы процессы-носители информации, сигналы и их модуляция, особенности модуляции при измерениях;

- исследована информационная способность и потенциальная точность различных видов модуляции, обоснованно выбрана пара модуляторов: ШИМ-ЧИМ;

- исследованы методы дискретного перемножения сигналов

при различных видах модуляции;

- создана компьютерная модель обработки сигналов и исследований различных видов погрешностей ЦИПМ.

Практическая ценность работы состоит в том, что предложен алгоритм и программа компьютерного моделирования ЦИПМ, из реализации которой вытекают приемлемые значения динамических параметров ЦИПМ, а так же реальные значения погрешностей преобразования. Разработана экспериментальная установка счетчика электрической энергии, на которой подтверждены результаты компьютерного моделирования.

Внедрение результатов предполагается в Харьковском управлении городского электротранспорта (ГОРЭЛЕКТРОТРАНС) в виде реверсивного счетчика электроэнергии.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались на VI республиканской научно-технической конференции "Устройства преобразования информации для контроля и управления в энергетике" ХПИ (Харьков, 1992 г.); 7-м симпозиуме по "Проблемам создания преобразователей форм информации" (Киев, 1992 г.); 1-й Украинской научно-технической конференции "Метрология в электронике - 94" (Харьков, 1994 г.); III научно-технической конференции "Контроль и управление в технических системах" (Винница, 1995 г.); на ежегодных научно-технических конференциях Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета (ХАДИ).

Результаты, изложенные в диссертации, получены автором в 1992...1995 г.г. на кафедре автоматики Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета.

Публикации. Материалы диссертации изложены в тезисах 4-х научных докладов.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 92 наименований. Содержит стр. учитываемого текста, стр. приложений, рисунков и таблиц.

Содержание работы

Во введении показана актуальность темы исследования, сформулирована цель и основные задачи диссертационной работы, приведена ее краткая характеристика и структура.

В первой главе осуществлен аналитический обзор методов и средств измерения электрической мощности и энергии. Вводится понятие "мертвого времени" для ИПМ, дана их классификация по принципу перемножения сигналов тока и напряжения.

Большую группу представляют собой ИПМ с функциональным преобразованием входных величин. Сюда входят множительные устройства, реализующие функцию произведения путем моделирования одной из математических зависимостей:

$$U_u U_i = 0.25 [(U_u + U_i)^2 - (U_u - U_i)^2];$$

$$U_u U_i = 0.5 [U_u^2 + U_i^2 - (U_u \pm U_i)^2];$$

$$U_u U_i = \text{anti lg} (\lg U_u + \lg U_i);$$

$$U_u U_i = \int U_u dU_i + \int U_i dU_u;$$

$$U_u U_i = 0.5 [\cos (a-b) - \cos (a+b)],$$

где $U_u = \sin a$; $U_i = \sin b$.

Так как современные ИПМ, как правило, используют принцип модуляции сигналов, то здесь подробно рассматриваются виды модуляторов, используемых при различных типах сигналов и процессов. Рассмотрены существующие варианты ИПМ на основе модуляции входных сигналов с аналоговым перемножением.

Показана несостоятельность идеи квантования уровня сигналов тока и напряжения при помощи двух АЦП с последующим перемножением кодов, вследствие низкой точности и быстройдей-

ствия АШП.

В конце первой главы сделаны выводы, сформулирована цель и задачи исследований.

Во второй главе исследована потенциальная точность различных типов модуляции исходных сигналов, и осуществлен выбор перемножителя для ЦИПМ.

В начале рассматриваются информационные характеристики процесса измерения. Введено четкое разграничение между циркуляцией сигналов в аналоговой системе и циркуляцией количественной информации в цифровой системе. Далее рассмотрены информационные характеристики средств контроля и измерения, и на этой основе исследована информационная способность (ИС) различных типов модуляции. В том числе амплитудной (АИМ), широтно-импульсной (время-импульсной) (ШИМ, ВИМ), частотно-импульсной (ЧИМ).

При АИМ мы имеем дело с амплитудами (уровнями) сигналов. На амплитуду сигнала и накладываются различного рода флуктуации. Флуктуации могут быть низкочастотными и высокочастотными. Если период модуляции соизмерим с периодом низкочастотной флуктуации, то можно считать, что эта флуктуация определяет значение измеряемой величины на отрезке модуляции. В этом случае истинное значение измеряемой величины нельзя получить даже при помощи идеального измерительного средства. Такими флуктуациями могут быть, например, регулярные искажения синусоидального сигнала мощности промышленной частоты, то есть отклонения тока и напряжения от синусоидальной формы. Такие отклонения не являются составляющими погрешности измерения и при анализе не учитываются.

Высокочастотные флуктуации измеряемой величины в электрических цепях вызываются тепловыми шумами. Энергия тепलो-

го шума в замкнутой цепи определяется уравнением Найквиста. Согласно этому уравнению, средняя мощность теплового шума

$$P_{\text{ш}} = 4kT^{\circ}\Delta f,$$

где $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К - постоянная Больцмана; T° - абсолютная температура; Δf - полоса частот, к которой относится найденная мощность.

Для электроизмерительного прибора с входным сопротивлением R , к которому прикладывается входной сигнал $U(t)$, действующее значение флуктуационного шумового напряжения

$$\bar{U}_{\text{ш}} = \sqrt{P_{\text{ш}} R} = 2\sqrt{kT^{\circ}\Delta f R}.$$

Показано, что ИС АИМ ограничена уровнем тепловых шумов электронной аппаратуры. Количество информации при АИМ

$$I(\bar{U}) = H(\bar{U}) - H(\bar{U}_{\text{ш}}) = \log \frac{\sigma_{\text{с}}}{\sigma_{\text{ш}}},$$

где $H(\bar{U}) = \log_a \sqrt{2\pi e} \sigma_{\text{с}}$ - энтропия нормально распределенного входного сигнала АИМ, $H(\bar{U}_{\text{ш}}) = \log_a \sqrt{2\pi e} \sigma_{\text{ш}}$ - энтропия нормально распределенного теплового шума.

Информационная способность АИМ

$$N_{\text{АИМ}} = \sigma_{\text{с}} / \sigma_{\text{ш}} = \bar{U} / \bar{U}_{\text{ш}} \text{ различных градаций (р.г.).}$$

Теоретически найденное значение $N_{\text{АИМ}} = 1.23 \cdot 10^9$ р.г. Практически же, из-за низкой воспроизводимости эталонов электрического напряжения $N_{\text{А}} = 10^4$ р.г. И поэтому серийно выпускаемые преобразователи "напряжение-код" имеют не более 10...12 двоичных разрядов (за исключением ПНЧ).

Для ШИМ (ВИМ) информационная способность определяется как тепловыми шумами, так и нелинейностью развертки. Однако, вследствие лучшей, чем у АИМ, воспроизводимости эталонов времени $N_{\text{ШИМ}} = 10^5$ р.г. Информационная способность реальных ЧИМ составляет $N_{\text{Ч}} = 10^5$ р.г. В таблице приведены возможные пары модуляций, и произведение количеств различных градаций

для этих пар.

пары модуляций (град) ²	АИМ _x АИМ	АИМ _x ШИМ	АИМ _x ЧИМ	ШИМ _x ШИМ	ЧИМ _x ЧИМ	ШИМ _x ЧИМ
	10 ⁸	10 ⁹	10 ⁹	10 ¹⁰	10 ¹⁰	10 ¹⁰

Отсюда следует, что для создания ЦИПМ перспективны три последних пары. Сделан анализ вариантов перемножения сигналов для этих пар и установлено, что проще всего перемножение осуществляется при ШИМ_xЧИМ.

В третьей главе оценены погрешности цифровой обработки сигналов в ЦИПМ. В качестве модели обработки сигналов использован алгоритм взаимно-корреляционной обработки сигналов:

$$Y = \frac{k}{T} \int_0^T x_1(t) x_2(t-\tau) dt, \quad (1)$$

где τ - временной сдвиг, изменяющийся от нуля до T и отображающий сдвиг фаз сигналов; k - коэффициент пропорциональности.

В обобщенном виде алгоритм (1) записывается в виде:

$$Y = \frac{k}{T} \int_0^T f[\vec{x}(t), \vec{a}] dt, \quad (2)$$

где $f[\vec{x}(t), \vec{a}]$ - функция вектора входных сигналов $\vec{x}(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$; \vec{a} - вектор параметров, определяющих алгоритм обработки.

Результат, получаемый на выходе ЦИПМ имеет вид:

$$\tilde{Y} = \frac{k}{m} \sum_{i=1}^{m-1} \tilde{f} [x(t_i), \xi(t_i); a]. \quad (3)$$

где m - число отсчетов; $f[\dots]$ - значения алгоритмической функции $f[\dots]$ в точках отсчета, искаженные погрешностями и помехами $\xi_i(t)$, которые образуют вектор $\vec{\xi}(t)_i$.

Погрешность ЦИПМ, в общем виде, может быть представлена как разность значений, полученных из (2) и (3), то есть:

$$\Delta Y = \tilde{Y} - Y. \quad (4)$$

Эта погрешность состоит из:

- погрешности дискретизации ΔY_d ;
- погрешности квантования $\Delta Y_{кв}$;
- динамических погрешностей ΔY_c ;
- погрешностей, вносимых помехами и инструментальными, имеющих случайный характер - ΔY_g .

Анализ погрешности дискретизации оказался достаточно сложным.

Рассмотрение особенностей получения частоты квантования для ЦИПМ, которая получается из преобразования переменного напряжения в переменную частоту, показал, что объективно исследовать погрешность квантования в ЦИПМ можно только путем компьютерного моделирования. Модель была выполнена так, чтобы осуществить пошаговое просчитывание каждого этапа измерения с последующим суммированием импульсов ПНЧ на каждом цикле ВИП, в соответствии с выражением (3). Такая методика вычисления реальных процессов потребовала значительных вычислительных затрат. Для обеспечения максимального быстродействия компьютерной моделирующей программы она была написана на алгоритмическом языке Borland C++.

Чтобы различить погрешности от нелинейностей, вызванных синусоидальным характером входного сигнала, и погрешности квантования, были проквантованы на ЭВМ одинаковые по мощности сигналы постоянного и переменного тока. Данные машинного эксперимента отражены на рис. 1.

Идеальный эксперимент это тот, когда напряжение и ток постоянны, а реальный, когда они переменны. Отличие графиков идеального и реального экспериментов отражает влияние нелинейности. Оно составляет $\cong 0.1$ имп. на ампер в виде систематической погрешности.

Из результатов компьютерного моделирования вытекает, что процесс квантования вносит систематические погрешности преобразования, которые по диапазону растут в начале очень быстро, а затем, достаточно медленно. В диапазоне токов 10...50 А систематическая погрешность преобразования вырастает всего на 0.2 А. Эти погрешности могут быть учтены при градуировке прибора. Случайные погрешности в диапазоне токов 10...50 А, при $f_{\text{ПНЧ}} = 5 \cdot 10^5 \text{ Гц}$, лежат в полосе $\approx 0.25\%$.

В четвертой главе описаны экспериментальные исследования ШИПМ, выполненного по заданию завода "Коммунар" и Харьковского управления городского электротранспорта (ГОРЭЛЕКТРОТРАНС).

В основу разработанной конструкции положен принцип измерения мгновенных значений действующих токов и напряжений с их последующим перемножением и выводом информации на индикаторное устройство.

Принцип действия канала измерения напряжения основан на прямом преобразовании входного напряжения постоянного тока в импульсы заданной длительности. Канал измерения напряжения имеет следующую структуру:

- входным устройством является первичный преобразователь напряжения (ППН), который преобразует напряжение линейной сети в форму, удобную для дальнейшей обработки;

- с ППН сигнал поступает на входной нормирующий усилитель канала напряжения (ВУН), имеющий переменный коэффициент усиления, что дает возможность изменять коэффициент преобразования канала и производить оперативную калибровку и поверку счетчика;

- нормированный сигнал с ВУН подается на интегрирующий преобразователь напряжение-частота (ПНЧ), позволяющий получить на выходе сигнал с частотой, пропорциональной амплитуде

входного сигнала.

Таким образом, работа канала измерения напряжения сводится к преобразованию входного сигнала постоянного тока в импульсы заданной длительности с частотой, прямо пропорциональной амплитуде входного сигнала $f = K_1 U_{in}$.

Работа канала тока основана на принципе широтно-импульсной модуляции входного сигнала импульсами пилообразной формы от генератора линейно-изменяющегося напряжения (ГЛИН). Канал состоит из следующих функциональных блоков:

- первичный преобразователь тока (ППТ) предназначен для преобразования постоянного тока в линейной сети в напряжение заданной амплитуды, определяемое последующими цепями;

- входной нормирующий усилитель токового канала (ВУТ) выполняет функцию, аналогичную ВУН; и дополнительно осуществляет компенсацию остаточного напряжения ГЛИН (постоянное напряжение, остающееся на частотно-задающем конденсаторе ГЛИН после его разряда, - "0" ГЛИНа);

- ГЛИН вырабатывает импульсы пилообразной формы с амплитудой, превышающей максимальную амплитуду сигнала с ВУТ, частота сигнала определяется требуемой точностью измерений и, в нашем случае, составляет примерно 2 КГц; сигнал с ГЛИН является опорным сигналом для компаратора;

- компаратор (К) осуществляет сравнение сигналов с ВУТ и ГЛИН; на выходе компаратора формируется сигнал логической единицы в том случае, если сигнал с ВУТ превышает сигнал ГЛИН, и логического нуля - в противном случае.

Следовательно на выходе канала тока формируются импульсы, длительность которых прямо пропорциональна мгновенному значению потребляемого тока $t = K_2 U_i$.

Выходные сигналы каналов измерения напряжения (с частотой, пропорциональной мгновенному значению входного напряже-

ния) и тока (с длительностью импульсов, пропорциональной мгновенному значению тока) поступают на мультиплексное устройство (МУ), на выходе которого образуются пакеты импульсов длительностью t (определяемой током), заполненные импульсами постоянной длительности частотой f (определяемой значением напряжения):

$$tf = K_1 K_2 U_u U_x = \text{const } U_x I_x,$$

где U_x и I_x - мгновенные значения измеряемых напряжения и тока соответственно.

Учитывая, что произведение $U_x I_x = P_x$ - мгновенная потребляемая мощность, на выходе МУ получаем сигнал с частотой пропорциональности мощности, потребляемой нагрузкой, а общее число импульсов прямо пропорционально потребляемой электроэнергии.

Устройство вывода информации (УВИ) предназначено для подсчета числа поступающих с МУ импульсов и преобразования их в форму, определяемую типом выходного устройства индикации.

Питание устройства осуществляется блоком питания (БП), схема и конструкция которого зависят от конкретного применения счетчика (при установке счетчика на подвижные системы городского электротранспорта предпочтительным является питание от бортовой сети с помощью импульсного БП).

Исходя из требования унификации конструкции в качестве первичного преобразователя тока используется стандартный унифицированный шунт, обеспечивающий падение напряжения 75 мВ при номинальном токе через него. Таким образом, номинальное входное напряжение канала тока равно 75 мВ.

Первичный преобразователь канала напряжения представляет собой слаботочный резисторный делитель, поэтому номинальное входное напряжение канала можно выбрать достаточно большим.

В данной конструкции это напряжение выбрано равным 0,25 В.

Конечное выражение, описывающее работу устройства измерения потребления электроэнергии, имеет следующий вид:

$$f_{\text{р(т)}} = K_1 K_2 K_3 n Q P(t) / U_g$$

По последнему выражению можно ориентировочно подобрать коэффициенты передачи входных усилителей напряжения и тока (K_1, K_3), ПЧ (K_2) и амплитудного значения напряжения ГЛИН (U_g), исходя из требований технического задания (обеспечение прямого отсчета) и схемотехнических ограничений.

Для построения высоколинейных ГЛИН удобно воспользоваться серийно выпускаемым одноканальным таймером 100БВИ1. Этот таймер состоит из трех функциональных узлов: двух компараторов напряжения на входе, RS-триггера и инвертирующего усилителя мощности на выходе.

Преобразователь напряжение-частота (ПЧ). ПЧ с заданной длительностью такта позволяют получить относительно высокую точность преобразования при достаточно простой реализации за счет применения интегральных микросхем. Промышленностью выпускается ПЧ типа КР1108ПП1, который и используется в нашем случае.

Перемножающее устройство выполнено на базе элемента 2И-НЕ типа К555ЛА3 или К1533ЛА3. На входы элемента подаются сигналы с выходов компаратора (канал тока) и ПЧ (канал напряжения). На выходе вентиля получается сигнал, представляющий собой пакеты импульсов, длительность которых пропорциональна потребляемому току, заполненных импульсами частоты, пропорциональной измеряемому напряжению. Этот сигнал поступает на устройство индикации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ литературных и патентных источников показал, что для создания электронных цифровых статических счетчиков электроэнергии наиболее подходят частотно-временные методы модуляции в совокупности с конъюнкторным перемножителем временного и частотного сигналов.

2. Компьютерное моделирование процесса аналого-цифрового преобразования активной мощности оказалось достаточно плодотворным. С его помощью стало возможным оценить уровень методических погрешностей ЦИПМ, носящих как случайный так и систематический характер.

3. Экспериментальные исследования пакета ЦИПМ показали, что полоса погрешности преобразования мощности составляет 0.3%. Полоса погрешности ЦИПМ при компьютерном моделировании в начале диапазона так же составляла 0.3%. При больших токах полоса погрешности суживалась до 0.2%.

4. При компьютерном моделировании удалось установить, что повышение частоты квантования (ПНЧ) со значения $5 \cdot 10^5$ Гц до $5 \cdot 10^6$ Гц практически не оказывает влияния на ширину полосы погрешности ЦИПМ. Поэтому ЦИПМ и счетчик электроэнергии могут быть полностью реализованы на серийно выпускаемых БИС и ИС.

СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Набхан Айман и др. Время-импульсное аналого-цифровое преобразование по методу приближения подходящими дробями. В кн. "Проблемы создания преобразователей формы информации". Тезисы докл. 7-го симпозиума (Киев, 27-29 окт. 1992 г.) - Киев: Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова АН Украины, 1992 г., - с. 23.

2. Набхан Айман. Способ цифрового измерения среднего значения переменного электрического напряжения (тока) промышленной частоты. "Устройства преобразования информации для контроля и управления в энергетике": Тезисы докладов IV научно-технической конференции. - Харьков: ХПИ, 1992 г. - с. 41.

3. Набхан Айман и др. Моделирование процессов в измерительных устройствах, работающих на последовательностях импульсов заданной формы в пакете **Math Cad**. В кн. "Метрологія в електроніці - 94". Тези доповідей I Української н.-техн. конф. Харків 1994. - с. 315-316.

4. Зиборов А.И., Айман Набхан. Математическое моделирование и оптимизация цифрового счетчика электрической энергии. В кн. "Контроль и управление в технических системах". Тезисы докладов III научно-технической конференции. Винница, 25-27 сентября 1995 г. - с.

Аннотация

Айман Набхан. Цифровые преобразователи электрической мощности. Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.08 - вычислительные машины, системы и сети, элементы и устройства вычислительной техники и систем управления. Харьковский государственный политехнический университет. Харьков 1996.

Сделан аналитический обзор современных измерительных преобразователей мощности электрического тока. Сформулированы цель и задачи исследований. Показано, что перспективными являются цифровые преобразователи, использующие амплитудную и широтно-импульсную модуляцию. Сделана компьютерная модель, выявлены погрешности преобразования, проведены макетирование и экспериментальные исследования погрешностей цифрового преобразователя.

Summary

Aiman Nabhan. Notation converters of electric power. Thesis in the form of a type-script for a Candidate of technical science degree by speciality 05.13.08 - computing machinery, systems and networks, elements and devices of computing equipment and control systems. Kharkov State Polytechnical University. Kharkov 1996.

The analytical review of modern measuring electric current power converters has been done. The aim and the problems of researches have been formulated. It has been shown that the perspective notation converters are those which use amplitude modulation and width-impulse modulation. The model of computer has been done, the transformation errors have been exposed, the modelling and experimental researches of notation converter errors have been carried out.

Ключевые слова: Электрическая мощность, модуляция, цифровые преобразователи.

ЛНБ ім. В. Стефанівна
АН України

Под. к печ. 18.04 Формат 60x80 1/16. Бумага тип. N
Печать офсетная. Усл. печ. л. 10 Усл.кр.-отт. Уч.-изд.л.
Изд. N Тираж 100 экз. Зак. N 404.

ХГАДТУ 310078 Харьков, ул. Петровского, 25

ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ

AB 34.722