

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ  
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв

**МАСИРА ОЛЕГ ІВАНОВИЧ**

**УДК 628.93.001**

**ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ  
СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ**

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

**Автореферат**  
дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль  
2018

Роботу виконано на кафедрі автоматизації технологічних процесів і виробництв Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

**Керівник роботи:** кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв  
**САВКІВ Володимир Богданович,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**Рецензент:** доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій  
**СТУХЛЯК Петро Данилович,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 28 лютого 2018 р. о 13<sup>00</sup> годині на засіданні екзаменаційної комісії №41 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул.Руська, 56, навчальний корпус №1, ауд. 401

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми роботи.** Проблема обліку спожитої електричної енергії та контролю її якості завжди була актуальною. На ринку існує велика кількість пристроїв, що дозволяють проводити облік та контролювати якість електроенергії. Серед усього цього різноманіття можна виділити як окремі пристрої, так і цілі системи обліку та контролю якості електроенергії. Сучасні системи, у більшості випадків, розроблені на базі спеціалізованих цифрових контролерів, які у своїй основі містять аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП). Тому важливо і актуально в сучасних системах обліку та контролю якості електроенергії вирішувати задачі підвищення точності аналого-цифрових перетворювачів електроенергії, підвищення точності АЦП у системах контролю показників якості електроенергії, використання засобів вимірювань факторів інтегральної напруги з покращеними метрологічними характеристиками.

**Мета роботи:** Метою магістерської роботи є розроблення засобів аналого-цифрового перетворення витрат електроенергії з підвищеною точністю та спрощеною реалізацією для широкого вжитку індивідуальними та промисловими споживачами. Відповідно до поставленої мети, завданнями досліджень були, – класифікація та критичний аналіз параметрів і характеристик АЦП витрат електроенергії, покращення метрологічних характеристик АЦПЕ шляхом удосконалення їх вузлів і застосування структурних методів корекції похибок, аналіз принципів побудови, розробка та дослідження основних вузлів АЦПЕ підвищеної точності та швидкодії, отримання аналітичних виразів для характеристик перетворення та оцінки похибок розроблених АЦПЕ та їх окремих вузлів, розроблення та дослідження макетних зразків АЦПЕ підвищеної точності

**Об'єкт, методи та джерела дослідження.** Процес аналого-цифрового перетворення інформації про стан фізичних об'єктів, засоби аналого-цифрового перетворення витрат електроенергії з підвищеною точністю і спрощеною реалізацією.

**Методи виконання роботи:** Аналітичний, математичного моделювання, порівняльний, теоретико-емпіричний. У роботі використовувалися методи теорії лінійних електричних кіл для дослідження властивостей і визначення характеристик перетворення АЦПЕ, узагальнений матричний метод для аналізу основних вузлів АЦПЕ, методи систем керування для підвищення точності аналогових перемножувачів і швидкодії компенсаційних інтегруючих перетворювачів напруга-частота, теорії похибок для оцінки похибок АЦПЕ.

### **Наукова новизна отриманих результатів:**

Уперше запропоновано структуру АЦПЕ, котра при простому схемному рішенні має підвищену точність, що дозволяє (за рахунок технологічного запасу по класу точності) тривалу, до 8 років, роботу АЦПЕ без додаткових перевірок. Запропоновано метод зменшення часу перевірки АЦПЕ на основі зміни структури

перетворювача введенням додаткового контрольного виходу та дільника частоти і підвищення вихідної частоти перетворювача напруга-частота (ПНЧ) і аналогового помножувача (АП). Виведено аналітичні вирази для характеристик перетворення та оцінки похибок розроблених АЦПЕ. Запропоновано аналоговий перемножувач, в якому підвищено точність за рахунок використання подвійної частотної модуляції. Отримано структурний метод підвищення швидкодії компенсаційних інтегруючих ПНЧ шляхом заміни активного інтегратора напруги на пасивний інтегратор струму і введенням у ПНЧ додаткового функціонального вузла - перетворювача напруга-струм.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Запропоновано принципові схеми АЦПЕ і на їх базі спроектовано макетні зразки АЦПЕ. Отримано розрахункові співвідношення для окремих вузлів АЦПЕ та наведено практичні рекомендації щодо їх реалізації. Запропоновано низку аналогових вузлів АЦПЕ, зокрема, компенсаційний генератор струму, компенсаційний перетворювач напруга-струм, компенсаційний ПНЧ, АП на основі оберненої функції, АП з подвійною частотною модуляцією, перемикач полярності. Запропоновано АЦПЕ підвищеної точності можуть використовуватися в комп'ютеризованих системах керування процесами виробництва і транспортування електроенергії, а також - служити базовими структурами електронних лічильників електроенергії як промислового, так і побутового використання;

**Апробація.** Окремі результати роботи доповідались на VII-ій Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, Тернопіль, ТНТУ, 28-29 листопада 2018 року.

**Структура роботи.** Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 8 частин, висновків, переліку посилань та додатків. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 183 арк. формату А4, додатки – 7 арк. формату А4, графічна частина – 7 аркушів формату А1

### **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** проведено огляд сучасного стану автоматизованих систем моніторингу в галузі енергетики.

**В аналітичній частині** проведено огляд сучасного стану систем обліку споживання електроенергії в галузі енергетики. Проведено огляд і аналіз існуючих АЦПЕ та виконано їх класифікацію.

**В науково-дослідній частині** проведено класифікацію та критичний аналіз параметрів і характеристик АЦП витрат електроенергії, запропоновано покращення метрологічних характеристик АЦПЕ шляхом удосконалення їх вузлів і застосування структурних методів корекції похибок, здійснено аналіз принципів побудови, розробки та дослідження основних вузлів АЦПЕ підвищеної точності та швидкодії, отримано аналітичні вирази для характеристик перетворення та оцінки похибок АЦПЕ та їх окремих вузлів, розроблено та дослідження макетних зразків АЦПЕ

підвищеної точності.

**В технологічній частині** проаналізовано характеристики виробу та його призначення, розроблено технологічний процес виготовлення виробу, сформовано вимоги до технологічності, уніфікації й стандартизації, проведено аналіз технології.

**В конструкторській частині** розроблено автоматизовану систему моніторингу електроспоживання, сформовано вимоги до основних технічних характеристик, визначено принципи роботи та порядок функціонування модулів системи автоматизованого моніторингу. Розроблено системи обліку спожитої електроенергії на базі ADE7757 IC лічильника електроенергії з вбудованим генератором. Розроблено та скомпоновано функціональну та електричну принципову схеми автоматичної системи обліку спожитої електроенергії. Підключено графічний модуль Hantronix 320x240 до 8-розрядного мікроконтролера сімейства MCS-51.

**В спеціальній частині** виконано програмування контролера графічного модуля Hantronix 320x240, розроблено програму ініціалізації контролера дисплея SED1335, встановлено режими відображення: Комбінування тексту і графіки.

**В частині «Обґрунтування економічної ефективності»** розглянуто питання організації виробництва і проведено розрахунки техніко-економічної ефективності прийнятих проектних рішень.

**В частині «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»** розглянуто питання планування робіт по охороні праці, розроблено заходи по безпечній експлуатації обладнання, та по захисту і відновленню підприємства у разі надзвичайних ситуацій.

**В частині «Екологія»** проаналізовано сучасний екологічний стан на підприємствах харчової промисловості України, розглянуто питання забруднення довкілля, що виникає внаслідок реалізації технологічного процесу, а також запропоновано заходи зі зменшення забруднення довкілля.

**У загальних висновках щодо дипломної роботи** описано прийняті в проекті технічні, технологічні рішення та проведені наукові дослідження методів моніторингу електроспоживання. Запропоновано для підвищення точності вимірювальної інформації використовувати вже застосовувані  $\Sigma\Delta$ -АЦП разом з методами адаптивної обробки. Адаптивна обробка здійснюється в цифровому виді, що не вимагає зміни аналогової частини  $\Sigma\Delta$ -АЦП (структури модулятора, вхідних підсилювачів, джерел опорних напруг і т.д.), і може виконуватись цифровим процесором, що є обов'язковою складовою будь-якого  $\Sigma\Delta$ -перетворювача

**В додатках** до пояснювальної записки приведено програмне забезпечення модуля Hantronix 320x240 ініціалізації контролера дисплея SED1335.

**В графічній частині** приведено схеми електричні функціональні та принципові модулів системи моніторингу споживання електроенергії. Представлено ілюстрації до науково-дослідної частини.

## **ВИСНОВКИ**

При проектуванні пристроїв первинного збору (ППЗ) систем контролю показників якості електроенергії (ПЯЕ), підвищення точності перетворених даних можливо за рахунок використання  $\Sigma\Delta$ -АЦП більше високого класу точності. Однак дане рішення може привести до збільшення кінцевої вартості ППЗ, до того ж

більшість високоточних АЦП, представлених сьогодні на ринку, не задовольняють рішення поставленого завдання по швидкодії. Альтернативою може служити використання алгоритмів адаптивної обробки вуже застосовуваних  $\Sigma\Delta$ -перетворювачах, що забезпечують необхідну швидкодію, хоча дане рішення вимагатиме більших витрат на процес розробки.

Проведений аналіз показав, що в рамках розв'язуваного завдання, для підвищення точності вимірювальної інформації, можуть бути використані вже застосовувані  $\Sigma\Delta$ -АЦП разом з методами адаптивної обробки. Адаптивна обробка здійснюється в цифровому виді, що не вимагає зміни аналогової частини  $\Sigma\Delta$ -АЦП (структури модулятора, вхідних підсилювачів, джерел опорних напруг і т.д.), і може виконуватися цифровим процесором, що є обов'язковою складовою будь-якого  $\Sigma\Delta$ -перетворювача.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ**

О.І. Масира, І.Р. Козбур, Підвищення точності аналогово-цифрових перетворювачів у системах обліку електроенергії / Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 28–29 листопад 2018.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2018. – 51–52.

## **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Влах Г.І., Мичуда З.Р. Компенсаційний перетворювач напруга-струм// Вісник ДУЛП - Автоматика, вимірювання та керування.- Л.: ДУЛП, 1996, вип.305, с. 53-56.
2. Влах Г.І., Мичуда З.Р., Гордійчук Р.А. Підвищення швидкодії прецизійних перетворювачів напруга-частота// Сборник трудов международной НТК "Приборостроение – 2004", Винница-Ялта, 2004, с. 72-76.
3. М.Ю. Михеев, А.В. Коновалов, А.Г. Дмитриенко. Экспертная система контроля качества электрической энергии. // Труды международной научно-технической конференции «Современные информационные технологии». – Пенза: Пензенская государственная технологическая академия, 2005г, вып. 2., с. 62-66.
4. М.Ю. Михеев, А.В. Коновалов, А.Г. Дмитриенко. Имитационное моделирование системы контроля качества электрической энергии. // Труды международной научно-технической конференции «Современные информационные технологии». – Пенза: Пензенская государственная технологическая академия, 2005г, вып. 2., с. 81-84.
5. О.В. Башкиров, П.П. Першенков, Е.А. Тюрин. Один из путей повышения точности показаний счетчиков электрической энергии.//Надежность и качество: труды Международного симпозиума/под ред. проф. Н.К.Юркова. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005г, с. 362-365.
6. К.С. Ефремов, В.К. Барсуков. Измерительная система для определения качества электрической энергии. // Труды международной научно-практической конференции «Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии NationalInstruments». – Москва: Российский институт дружбы народов, 2006г, с. 200-207.

## АНОТАЦІЯ

В даній магістерській кваліфікаційній роботі відповідно до поставленої мети було виконано наступні завдання:

- Проведено класифікацію та критичний аналіз параметрів і характеристик АЦП витрат електроенергії.
- Проаналізовано покращення метрологічних характеристик АЦПЕ шляхом удосконалення їх вузлів і застосування структурних методів корекції похибок.
- Проведено аналіз принципів побудови, розробка та дослідження основних вузлів АЦПЕ підвищеної точності та швидкодії.
- Отримано аналітичні вирази для характеристик перетворення та оцінки похибок розроблених АЦПЕ та їх окремих вузлів.

Об'єкт дослідження – процес аналого-цифрового перетворення інформації про стан фізичних об'єктів.

Предмет дослідження – засоби аналого-цифрового перетворення витрат електроенергії з підвищеною точністю і спрощеною реалізацією.

У роботі використовувалися методи теорії лінійних електричних кіл для дослідження властивостей і визначення характеристик перетворення АЦПЕ, узагальнений матричний метод для аналізу основних вузлів АЦПЕ, методи систем керування для підвищення точності аналогових перемножувачів і швидкодії компенсаційних інтегруючих перетворювачів напруження-частота, теорії похибок для оцінки похибок АЦПЕ.

В даній магістерській кваліфікаційній роботі згідно отриманого завдання розроблено автоматизовану електронну систему обліку споживання електроенергії інтегрального типу (активної складової споживаного струму) на базі компонентної бази Analog Devices, з функціями тарифікації.

Проведено огляд можливих технічних рішень, які можна використати при розробці даної системи з використанням сучасної технічної бази. Такі рішення підвищують ефективність обліку, дають можливість проводити багато тарифну політику збуту електроенергії.

**Ключові слова:** АНАЛОГОВО-ЦИФРОВЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ, АЦП, МЕТОДИ КОНТРОЛЮ, СИСТЕМА ОБЛІКУ СПОЖИТОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.

## ANNOTATION

In this master's qualification work according to the purpose it was performed the following tasks:

- Classification and critical analysis parameters and characteristics of ADC power consumption.
- Improve metrological characteristics analyzed ADCE by improving their use of structural components and methods for correcting errors.
- The analysis of the principles of design, research and development of basic units ADCE improved accuracy and speed.
- The analytical expressions for performance evaluation and conversion errors ADCE developed and their individual components.
- Development and Research mock samples ADCE high accuracy.

The object of study - the process of analog to digital conversion of information on the state of physical objects.

Subject of research - the means of analog-digital conversion power consumption with high precision and a simplified implementation.

We used methods of the theory of linear circuits to study the properties and characterization conversion ADCE, generalized matrix method for the analysis of major components ADCE, methods of control to improve the accuracy of analog multipliers and speed compensation integrating Voltage-frequency theory of errors to assess errors ADCE.

In this master's qualification work under the resulting tasks developed an automated electronic system metering of electricity integral type (the active component of current consumption) on a component base Analog Devices, with functions of charging.

The review of possible technical solutions that can be used in the development of this system on a modern technical base. These solutions increase the efficiency of accounting, allow to spend a lot of electricity sales tariff policy.

**Key words:** ANALOGUE-DIGITAL TRANSFORMATION, ADC, METHODS OF CONTROL, SYSTEM OF MEASUREMENT OF CONSUMPTION ELECTRICITY.