

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Вінницький національний технічний університет

# **КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

Монографія

Вінниця  
ВНТУ  
2012

УДК 681.518.3  
ББК 38.965  
К97

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 10 від 21.06.2012 р.)

Рецензенти:

**П. Д. Лежнюк**, доктор технічних наук, професор

**В. В. Ткачов**, доктор технічних наук, професор

**Кухарчук, В. В.**

К97 Комп'ютеризована система обліку електричної енергії : монографія / В. В. Кухарчук, О. М. Заславський. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 152 с.

ISBN 978-966-641-503-8

В монографії розглядаються принципи побудови апаратного, програмного і метрологічного забезпечення комп'ютеризованих систем обліку електричної енергії, а також зроблено спробу теоретичного узагальнення фізичної природи та математичного змісту похибок суто цифрових вимірювань, що пов'язані із застосуванням мікропроцесорної техніки. Запропоновано нові методи корекції похибок цифрових вимірювань електричних величин при автоматизованому обліку електричної енергії.

**УДК 681.518.3**  
**ББК 38.965**

**ISBN 978-966-641-503-8**

© В. Кухарчук, О. Заславський, 2012

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ПЕРЕДМОВА .....	6
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ .....	10
1.1 Особливості диференційованого за часом обліку електричної енергії, що зумовлені вимогами енергоринку та нормативних документів.....	10
1.2 Особливості побудови ІВС .....	17
1.2.1 Вимірювальний канал .....	18
1.2.2 Вимірювальна система .....	22
1.2.3 Різновиди вимірювальних систем .....	23
1.2.4 Стандартні інтерфейси .....	26
1.2.5 Передача даних в системах .....	29
1.3 Вимоги до точності вимірювань електричної енергії .....	32
1.4 Узагальнена структурна схема та основні складові автоматизованої системи обліку електричної енергії .....	34
1.5 Стандартні послідовні інтерфейси .....	36
РОЗДІЛ 2 ЛІЧИЛЬНИКИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ СИСТЕМНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ. ВІД ІНДУКЦІЙНИХ ДО МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ .....	40
2.1 Основні теоретичні положення вимірювань електричної потужності та обліку електричної енергії .....	40
2.2 Принципи вимірювання електричної енергії індукційними лічильниками .....	43
2.3 Принципи вимірювання електричної енергії електронними лічильниками .....	46
2.4 Вимірювальні канали. Схемні та конструктивні особливості первинних перетворювачів струму та напруги.....	51
2.5 Структурні та архітектурні особливості програмного забезпечення багатофункціональних лічильників.....	62
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ СИСТЕМИ.....	64
3.1 Характерні похибки мікропроцесорних приладів обліку .....	64
3.2 Комп'ютерне моделювання метрологічних характеристик вимірювальних каналів, побудованих на базі трансформаторів струму.....	68

3.3 Цифрова корекція нелінійних передатних функцій вимірювальних каналів.....	74
3.4 Математичні методи комп'ютерної інтерполяції метрологічних характеристик вимірювальних каналів мікропроцесорних лічильників .....	77
3.5 Мінімізація взаємовпливу каналів вимірювання струму і напруги .....	87
3.6 Мінімізація похибки, яка зумовлена неодноразовістю фіксації миттєвих значень змінних струмів та напруг .....	93
<b>Розділ 4 АПАРАТНО-ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ДЛЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І КАЛІБРУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ.....</b>	<b>101</b>
4.1 Принципи побудови мікропроцесорних засобів для проведення метрологічних досліджень та калібрування вимірювальних каналів.....	101
4.2 Калібрування вимірювальних каналів мікропроцесорних приладів обліку.....	106
4.3 Статистичний аналіз результатів цифрових вимірювань електричної енергії.....	112
<b>Розділ 5 ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ ВІД НАВМИСНИХ ТА НЕНАВМИСНИХ СПОТВОРЕНЬ. ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ.....</b>	<b>116</b>
5.1 Вимоги електромагнітної сумісності до електронних приладів обліку.....	116
5.2 Захист електронної схеми приладу обліку від впливу електромагнітних завад та полів .....	121
5.3 Захист обліку від навмисного несанкціонованого втручання...	125
<b>Розділ 6 АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ І В БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ СПОРУДАХ.....</b>	<b>127</b>
6.1 Структурні та архітектурні особливості автоматизованої системи обліку електричної енергії .....	127
6.2 Стадії та складові проекту автоматизованої системи комерційного обліку електричної енергії.....	138
<b>ЛІТЕРАТУРА .....</b>	<b>143</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

НЕК	– Національна енергетична компанія
НКРЕ	– Національна комісія регулювання електроенергетики
РЕМ	– районні електричні мережі
ЛЕ	– лічильник електричної енергії
ВТС	– вимірювальний трансформатор струму
ВТН	– вимірювальний трансформатор напруги
ВП	– вимірювальний перетворювач
АЦП	– аналого-цифровий перетворювач
ЦАП	– цифро-аналоговий перетворювач
ВК	– вимірювальний канал
ІВС	– інформаційно-вимірювальна система
ПК	– персональний комп'ютер
ССН	– синтезатор синусоїдальних струмів і напруг
РЕ	– робочий еталон
КЛ	– лічильник, що калібрується
ЕМС	– електромагнітна сумісність
ЛУЗОД	– локальне устаткування збору облікових даних
БД	– база даних
АСКОЕ	– автоматизована система комерційного обліку електроенергії

## ПЕРЕДМОВА

*Про що і з якою метою написана ця книга?*

Автоматизовані системи обліку електричної енергії вже досить щільно заповнюють простір енергетичної галузі. Зважаючи на велику кількість технічних рішень з побудови самих систем та їх компонентів, в тому числі мікропроцесорних багатofункціональних лічильників, можна було б очікувати великий обсяг науково-технічної літератури з обґрунтування та узагальнення цих рішень. Але, на жаль, ці очікування доки ще не виправдовуються.

Перша в Україні монографія [1], у якій розглянуті питання впровадження автоматизованих систем обліку та управління електроспоживанням, технічні та організаційні проблеми контролю електроенергії з урахуванням її якості, вийшла лише у 2010 р. Раз на два роки публікуються тези науково-практичних конференцій «Метрологічне забезпечення обліку електричної енергії». Автори доповіді [2] на такій конференції, що відбулась у червні 2009 року, справедливо звертають увагу на той сумний факт, що з 2000 до 2006 року в Україні не з'явилося жодного нормативного документу, який би деталізував технічні вимоги до автоматизованих систем обліку різного рівня. А розроблений у 2006 році Інститутом енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ» стандарт Оптового ринку електричної енергії: «Автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії суб'єктів ОРЕ. Загальні вимоги» [3] так і не було впроваджено в дію.

Нові ідеї та конкретні технічні рішення, що стосуються побудови мікропроцесорних лічильників електроенергії – інтелектуальної складової вимірювальних каналів систем обліку, здебільшого не виносяться на публічне обговорення за умов комерційної таємниці. Все це не сприяє підвищенню науково-технічного рівня систем обліку. Відсутність опублікованих даних про принципи вимірювання електроенергії в тих чи інших лічильниках робить неможливим їх об'єктивне порівняння з точки зору користувачів, а відсутність інтенсивного обміну інформацією в інженернім середовищі розробників не сприяє виникненню принципово нових та достатньо обґрунтованих ідей. Зважаючи на все це, ми вважаємо не тільки доцільними, але й конче необхідними публікації, в яких обговорюються конкретні питання побудови всіх рівнів

автоматизованих систем обліку електроенергії, починаючи з принципів побудови компонентів вимірювальних каналів і до принципів проектування і впровадження об'єктно-орієнтованих систем.

В цій монографії розглядаються вказані вище питання, а також зроблено спробу теоретичного узагальнення фізичної природи та математичного змісту похибок суто цифрових вимірювань, що пов'язані із застосуванням мікропроцесорної техніки. Запропоновано нові методи корекції похибок цифрових вимірювань електричних величин при автоматизованому обліку електричної енергії. Необхідність теоретичного обґрунтування методів вимірювань та захисту інформації в системах комп'ютерного обліку електроенергії диктується все більш гострим попитом на цю технологію у зв'язку з потребами енергетичної галузі у точних та надійних вимірюваннях.

*Чим відрізняється облік енергії від інших вимірювань?*

Енергія не вимірюється безпосередньо шляхом порівняння з деяким еталоном, а опосередковано. Процес вимірювання енергії явно чи побічно завжди включає обчислювальну процедуру, яка узагальнює результати прямих вимірювань таких метризованих фізичних величин, як відстань, вага, сила електричного струму тощо.

Результати вимірювань енергії суттєво залежать від тривалості часу, протягом якого здійснюється вимірювання, та наявності пам'яті. Якщо о восьмій годині ранку Ви запишете покази Вашого лічильника електричної енергії – 6754 кВт/год, то ні о восьмій тридцять, ні в будь який інший час після восьмої цей самий лічильник (якщо його показам можна довіряти) не покаже меншу кількість енергії. І якщо десь о п'ятнадцятій того ж самого дня виникне питання: а скільки енергії спожито, починаючи з восьмої, то цю задачу неможливо розв'язати, не маючи пам'яті.

Існують два способи вимірювання та обліку електричної енергії. Перший відноситься до класичних електричних вимірювань, коли вимірювана величина (яка безпосередньо не спостерігається) перетворюється на таку, що може бути порівняна з еталонами довжини та часу. Прилади, які засновані на цьому способі, здійснюють електромеханічне перетворення вимірюваної енергії у кількість обертів спеціального електромеханічного пристрою. Другий спосіб принципово відрізняється від класичних вимірювань тим, що електричні величини

оброблюються спеціалізованим або універсальним обчислювачем у аналоговій або числовій формі; з них вилучається інформація у вигляді кодованої послідовності електричних імпульсів, яка надалі накопичується у пристроях пам'яті. Таким чином, якщо перший спосіб для вилучення інформації при електричних вимірюваннях обов'язково включає процедуру перетворення електричних величин у механічні, то за другим способом інформація безпосередньо вилучається з електричних величин шляхом аналого-цифрового перетворення та універсальних обчислювальних процедур.

Облік електричної енергії, починаючи з 90-х років ІХХ століття до початку ХХІ століття, майже переважно здійснювався за допомогою індукційних лічильників (тобто за першим способом). За статистикою 2000 р. переважна більшість вітчизняних об'єктів обліку на той період були обладнані лічильниками, створеними ще за ідеєю патенту угорця Отто Тітуса Блаті [4], який він одержав у 1889 р. Цікаво зазначити, що друга складова комп'ютерного обліку електричної енергії, а саме комп'ютер, відраховує свій вік майже точно з того ж самого часу. Англійський математик Чарльз Беббідж у співтворчості з Адою Лавлейс (дочкою лорда Байрона – видатного англійського поета) запропонував проект універсальної обчислювальної машини, яка стала прообразом сучасних комп'ютерів, у 1833 р.

Сучасний мікропроцесорний лічильник не має практично нічого спільного з конструкцією, запропонованою інженером Блаті, але він наслідував всі основні риси проекту математика Беббіджа і першої у світі програмістки леді Лавлейс: наявність універсального обчислювача з розділенням пам'яті даних і програм, програмним управлінням, вкладеними циклами, умовними переходами і т. ін.

*Чому виникла необхідність в автоматизованих системах обліку електричної енергії?*

Основною метою вдосконалення, підвищення точності та прозорості обліку електроенергії слід вважати створення умов для отримання за результатами вимірювань якомога більш достовірного балансу виробництва, передачі, розподілу і споживання електричної енергії в розрахункових точках обліку.

Робота енергетичної галузі в умовах функціонування Оптового ринку електричної енергії висуває підвищені вимоги до системи облі-



ку, а саме до її точності, надійності та цілісності. У зв'язку з цим при його створенні виникла необхідність поступового переходу до автоматизованих розрахунків між виробниками, транспортувальниками, продавцями та покупцями електричної енергії. Особливого значення автоматизація обліку електричної енергії набуває у зв'язку з диференціацією її ціни залежно від часу виробництва та споживання.

Ефективність застосування тарифів реального часу значною мірою залежить від дотримання певних умов, найважливіші серед яких такі:

- на Оптовому ринку електричної енергії функціонує автоматизована система управління реального часу (в мінімальному варіанті повинна діяти розподілена автоматизована система комерційного обліку і контролю виробництва, постачання і споживання електричної енергії, що функціонує в реальному масштабі часу);
- автоматизовані взаєморозрахунки між учасниками Оптового ринку електричної енергії.

Точність і достовірність системи обліку, в першу чергу, визначається засобами інформаційно-вимірювальної техніки, що застосовуються, а також принципами їх використання. За відсутності автоматизованої системи обліку статті балансу, що складається на основі даних обліку електроенергії, суттєво викривлені як внаслідок так званого «людського фактору», так і через різні похибки вимірювання приладів обліку, що встановлені на різних рівнях ринку електричної енергії, а також в результаті несинхронності зчитування інформації з лічильників. Ці обставини, в свою чергу, викликають необхідність відносити всі небаланси, що виникають, до втрат електричної потужності або енергії, що не дозволяє об'єктивно оцінювати рівень технічно неминучих втрат в мережах і перетворювачах. Процес отримання достовірної інформації повинен бути автоматизований з повним дублюванням отриманих даних і обов'язковою їх верифікацією не тільки для комерційного обліку, але й для задач технологічного обліку.

Технічне середовище, що реалізує вищевказані функції, повинне забезпечити можливість ефективного регулювання відносин усіх суб'єктів Оптового ринку електричної енергії, споживачів, транспортувальників та виробників електричної енергії.

# РОЗДІЛ 1

## ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Підстави та мета автоматизації обліку електричної енергії, термінологія, розрахунки за тарифами, що диференційовані за періодом часу, допустимі похибки в системі обліку електричної енергії, загальна структурна схема автоматизованої системи та її основного компонента – багатофункціонального лічильника.

### 1.1 Особливості диференційованого за часом обліку електричної енергії, що зумовлені вимогами енергоринку та нормативних документів

Навесні 2000 року робоча група, до складу якої увійшли провідні фахівці – розробники електронних приладів та інформаційно-вимірювальних систем автоматизованого обліку електричної енергії, закінчила роботу над проектом «Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку» [5]. Цей документ було затверджено Наказом № 32/28/28/276/75/54 Мінпаливенерго, НКРЕ, Держкомененергозбереження, Держстандарту, Держбуду, Держпромполітики від 17 квітня 2000 р.

Згідно з цим Наказом метою втілення «Концепції» є «підвищення точності та прозорості обліку електричної енергії, створення умов для отримання достовірного балансу електричної енергії і поступового переходу до автоматизованих розрахунків між виробниками, транспортувальниками, продавцями та покупцями електричної енергії». З цього часу в нашій країні почалось масове втілення нової технології вимірювань електричної енергії, заснованої на застосуванні мікропроцесорних приладів (лічильників) і систем автоматизованого комерційного обліку.

Згідно з «Концепцією» необхідність почасового обліку електричної енергії (почасові оптові тарифи реального часу) з підвищеною точністю виникла зі створенням Оптового ринку електричної енергії, що складається з незалежних акціонерних компаній (державні електричні компанії та державні акціонерні електричні компанії), незалежного регулюючого органу (Національна комісія з питань регулювання

електроенергетики України (НКРЕ), і, власне, Енергоринку – державного підприємства, що здійснює керівництво Оптовим ринком електричної енергії. Оскільки вартість електричної енергії залежить від витрат на її виробництво і передачу, моменту попиту (пори року, днів тижня і години доби), величини заявленої потужності та часу споживання потужності, то собівартість її є різною для кожної години року.

Перехід до високоточних вимірювань електричної енергії у реальному часі дозволяє вийти на дійсну ціну електричної енергії та оптимізувати виробництво, постачання і споживання електричної енергії. Концепцією стверджується, що це можливо лише при удосконаленні існуючих методів одержання первинної інформації про режими навантаження електричних мереж, відпущену в мережу, та корисно спожиту електроенергію за допомогою цифрових систем. Основні принципи побудови цих систем та конкретні вимоги до автоматизованих систем обліку електричної енергії викладено у багатьох роботах і документах, наприклад [6 – 20].

Робочу групу очолював д. т. н., професор А. В. Праховник. Його дослідження, проведені в Національному технічному університеті України «КПІ», особливо в частині забезпечення точності та верифікації первинної вимірювальної інформації в автоматизованих системах комерційного обліку електричної енергії, лягли в основу «Концепції».

Метою автоматизації обліку електроенергії є:

- підвищення достовірності визначення і прогнозування всіх складових балансу електроенергії;
- зниження комерційних втрат електроенергії за рахунок одночасного зняття показів лічильників;
- підвищення швидкості обробки інформації;
- оперативність контролю за виконанням диспетчерського графіка навантажень;
- удосконалення розрахунків за електроенергію;
- формування оптимальних ринкових відносин між виробниками, постачальниками і споживачами електричної енергії на принципах державного регулювання і конкуренції.

Згідно з термінологією, що визначена НКРЕ, розрахунковим (комерційним) обліком електроенергії називається облік виробленої, а також відпущеної електроенергії для грошового розрахунку за неї.

Лічильники, які встановлюються для розрахункового обліку, мають назву розрахункових лічильників.

Технічним (контрольним) обліком електроенергії називається облік для контролю витрат електроенергії на електростанції, підстанції, підприємстві, а також для обчислення і аналізу втрат електроенергії в електричних мережах всіх класів напруги.

Лічильники, що встановлюються для технічного обліку, мають назву лічильників технічного обліку.

Нижче наведено деякі терміни, що відносяться до диференційованого обліку, сформульовані в Правилах користування електричної енергії [11]:

**Автоматизована система обліку електричної енергії (автоматизована система обліку) – сукупність об'єднаних в єдину функціональну метрологічно атестовану систему локального устаткування збору і обробки даних засобів обліку, каналів передачі інформації та пристроїв приймання, обробки, відображення та реєстрації інформації.**

**Електрична енергія (активна) – енергоносіє, який виступає на ринку як товар, що відрізняється від інших товарів особливими споживчими якостями та фізико-технічними характеристиками (одночасність виробництва та споживання, неможливість складування, повернення, переадресування), які визначають необхідність регулювання та регламентації використання цього товару.**

**Електрична енергія (реактивна) – технологічно шкідлива циркуляція електричної енергії між джерелами електропостачання та приймачами змінного електричного струму, викликана електромагнітною незбалансованістю електроустановок.**

**Електрична мережа – сукупність електроустановок для передачі та розподілу електричної енергії.**

**Електропередавальна організація – суб'єкт господарювання, який отримав ліцензію НКРЕ на право здійснення підприємницької діяльності з передачі електричної енергії магістральними та міждержавними електричними мережами або місцевими (локальними) елект-**

ричними мережами, а також суб'єкт господарювання, який отримав ліцензію НКРЕ на право здійснення підприємницької діяльності з передачі електричної енергії місцевими (локальними) електромережами та ліцензію НКРЕ на право здійснення підприємницької діяльності з постачання електричної енергії за регульованим тарифом, що здійснює свою діяльність на закріпленій території.

**Електроустановка** – комплекс взаємопов'язаних устаткування і споруд, призначених для виробництва або перетворення, передачі, розподілу чи споживання електричної енергії.

**Засоби диференційного (погодинного) обліку електричної енергії** – засоби обліку, які використовуються для визначення обсягу електричної енергії та реалізують процедуру реєстрації показів засобів обліку за відповідними періодами часу.

**Засоби обліку** – засоби вимірювальної техніки, у тому числі лічильники, трансформатори струму та напруги, кола обліку, які використовуються для визначення обсягу електричної енергії та величини споживання електричної потужності.

**Локальне устаткування збору і обробки даних** – метрологічно атестована обчислювальна система, яка збирає, обробляє, накопичує і передає дані про обсяги і параметри потоків електричної енергії та величину споживаної потужності.

**Однотарифні засоби обліку** – засоби вимірювальної техніки, які використовуються для визначення обсягу електричної енергії та реєструють виключно інтегральне (сумарне) значення показів.

**Повірка засобів обліку** – встановлення придатності засобів вимірювальної техніки, на які поширюється державний метрологічний нагляд, до застосування, на підставі результатів контролю їхніх метрологічних характеристик.

**Площадка вимірювання** – сукупність точок обліку електричної енергії, в яких визначаються величини потужності та обсяги надходження та/або віддачі електричної енергії та між якими можливі перетікання електричної енергії технологічними електричними мережами власника електроустановок, у які надходить або з яких віддається електрична енергія.

**Розрахункові засоби обліку – засоби обліку електричної енергії, що застосовуються для здійснення комерційних розрахунків.**

**Розрахунковий (комерційний) облік електричної енергії – визначення на підставі вимірів та інших регламентованих процедур у передбачених цими Правилами випадках обсягу електричної енергії та величини потужності для здійснення комерційних розрахунків.**

**Розрахунковий період – період часу, зазначений у договорі, за який визначається обсяг спожитої та/або переданої електричної енергії, величина потужності та здійснюються відповідні розрахунки.**

**Споживач електричної енергії – юридична або фізична особа, що використовує електричну енергію для забезпечення потреб власних електроустановок на підставі договору.**

**Тариф – регульована та/або визначена відповідно до нормативно-правових актів НКРЕ ціна (сукупність цін відповідно до часу доби) на певні види товарів чи послуг.**

**Технічні (контрольні) засоби обліку – засоби обліку, що застосовуються суб'єктом господарської діяльності для контролю споживання електричної енергії, аналізу втрат електричної енергії у власних електричних мережах тощо.**

**Точка обліку електричної енергії – точка електромережі, в якій за допомогою засобів обліку або розрахунковим шляхом визначаються значення обсягів електричної енергії та величини потужності.**

**Точка продажу електричної енергії – межа балансової належності, на якій відбувається перехід права власності на електричну енергію.**

Споживачі можуть здійснювати розрахунки за електричну енергію за тарифами, диференційованими за періодами часу: тризонним (нічний, напівпіковий, піковий), двозонним (нічний, денний) або за недиференційованим тарифом (рис. 1.1).



Вартість електричної енергії при розрахунках за тризонним тарифом обчислюється за формулою

$$W = (k_n W_n + k_p W_p + k_{mn} W_{mn}) c,$$

де  $k_n$ ,  $W_n$  – коефіцієнт нічного тарифу та кількість електроенергії, яка спожита в нічній тарифній зоні;  $k_p$ ,  $W_p$  – коефіцієнт пікового тарифу та кількість електроенергії, яка спожита в піковій тарифній зоні,  $k_{mn}$ ,  $W_{mn}$  – коефіцієнт напівпікового тарифу та кількість електроенергії, яка спожита в напівпіковій тарифній зоні,  $c$  – вартість однієї кіловат-години електричної енергії.

Вартість електричної енергії при розрахунках за двозонним тарифом обчислюється за формулою

$$W = (k_n W_n + k_d W_d) c,$$

де  $k_n$ ,  $W_n$  – коефіцієнт нічного (двозонного) тарифу та кількість електроенергії, яка спожита в нічній тарифній зоні;  $k_d$ ,  $W_d$  – коефіцієнт денного (двозонного) тарифу та кількість електроенергії, яка спожита в денній тарифній зоні.

Зрозуміло, що облік за такими складними тарифними планами, та ще й зважаючи на необхідність враховувати сезонні переходи часу, потребує комп'ютерних компонент, що об'єднані в інформаційно-вимірювальну систему автоматизованого обліку.

Головна особливість сучасних вимог до автоматизованого обліку електроенергії полягає в необхідності погодинного та диференційованого за часом багатотарифного обліку.

Приклад розмежування тарифних зон і коефіцієнтів у випадку двозонного тарифу наведено на рис. 1.2.

За цих вимог з'явилась необхідність в значній мірі підвищити рівень «інтелектуальності» лічильників електроенергії. Це стало можливим із застосуванням в конструкціях лічильників мікропроцесорної техніки, що, в свою чергу, призвело до появи нової технології електричних вимірювань.



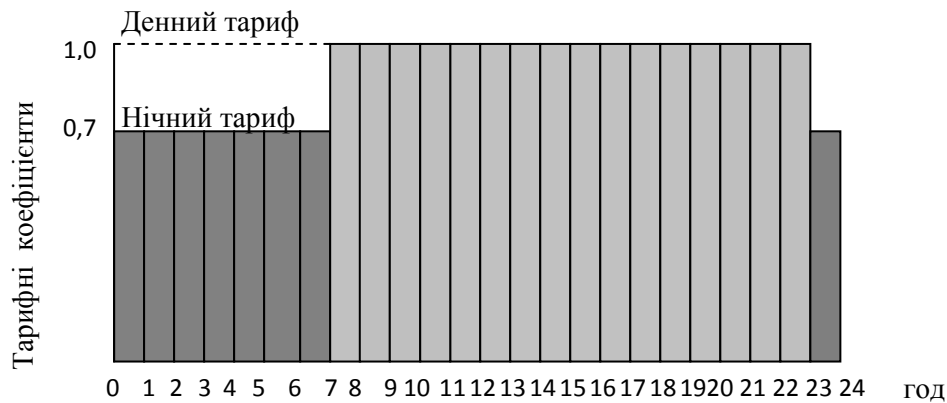


Рисунок 1.2 – Приклад розмежування тарифних зон диференційованого двозонного обліку електричної енергії

## 1.2 Особливості побудови ІВС

**Інформаційно-вимірювальна система ІВС – сукупність технічних і програмних засобів, спрямованих на реалізацію однієї з процедур експериментальної інформатики.**

Експериментальна інформатика – це розділ інформатики, в якому здійснюється оброблення даних, які безпосередньо отримують від об'єкта.

Базовою процедурою експериментальної інформатики є вимірювання. Вони можуть входити до складу більш складних процедур, таких як контроль, випробування, ідентифікація, побудова та дослідження залежностей тощо.

Незалежно від розв'язуваної задачі принципи побудови та організації роботи ІВС однакові. До складу ІВС у загальному випадку входять:

### **1. Вимірювальний канал (ВК):**

- сенсор (С) – складова частина первинного вимірювального перетворювача, що сприймає інформативні параметри сигналу і перетворює їх в уніфікований аналоговий сигнал, який у подальшому піддається квантуванню;
- нормуючий пристрій (НП), завдання якого – приведення уніфікованих сигналів до одного й того ж діапазону;

- аналого-цифровий перетворювач (АЦП) – остання ланка ВК, на виході якого утворюється двійковий код, пропорційний вхідному аналоговому сигналу.

2. **Керуючий канал**, який формує режими роботи об'єкта, а також умови проведення його експериментальних досліджень:

- перетворювач в позиційний код;
- цифро-аналоговий перетворювач та ін.

3. **Засіб обчислювальної техніки (ЗОТ)**, завдання якого – прийом, обробка цифрових даних та подання результату.

Для об'єднання всіх вузлів в єдине ціле використовують відповідний інтерфейс.

### 1.2.1 Вимірювальний канал

Сукупність засобів вимірювальної техніки, засобів зв'язку та інших технічних засобів, призначена для створення сигналу вимірювальної інформації про одну вимірювану фізичну величину називають вимірювальним каналом.

Узагальнена структурна схема вимірювального каналу наведена на рис. 1.3.

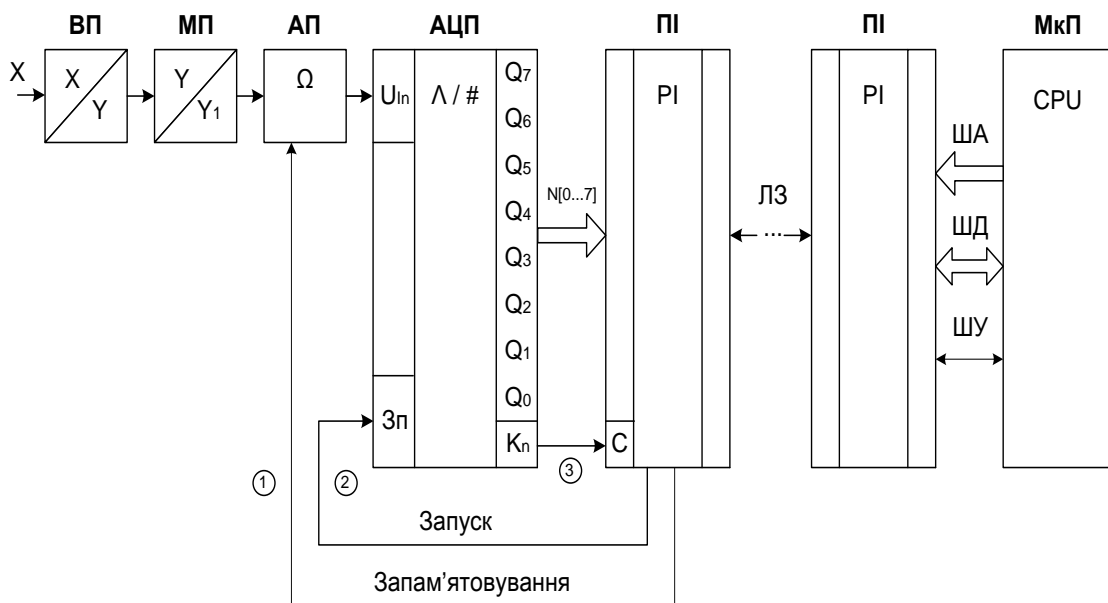


Рисунок 1.3 – Узагальнена структурна схема вимірювального каналу

Основними складовими наведеного вимірювального каналу є такі: С – сенсор (первинний вимірювальний перетворювач); ВП – масштабний перетворювач (вимірювальний підсилювач); АП – аналогова пам'ять (пристрій вибірки зберігання); АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ПІ – програмований інтерфейс; Зап – сигнал запам'ятовування вхідної аналогової величини; Зп – сигнал запуску АЦП; Кп – сигнал кінець перетворення АЦП; CPU – мікропроцесор (числовий перетворювач); РС – персональний комп'ютер.

Часові діаграми роботи цього вимірювального каналу показані на рис. 1.4.

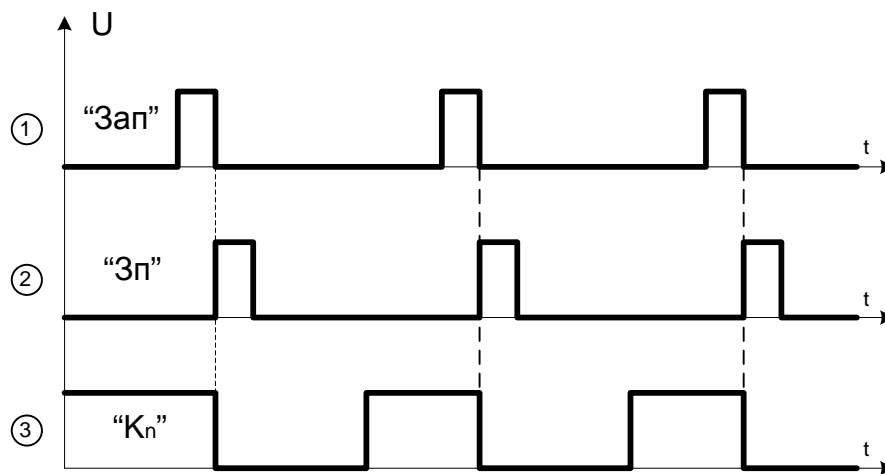


Рисунок 1.4 – Часові діаграми вимірювального каналу

Алгоритм роботи вимірювального каналу наведено на рис. 1.5. Суттєвою відмінністю цього алгоритму роботи програмного драйвера є наявність аналогового запам'ятовування вимірювальної інформації на час аналого-цифрового перетворення. Для зменшення динамічної похибки вимірювана аналогова величина на час аналого-цифрового перетворення запам'ятовується АП. Після завершення перетворення аналогової величини в дискретну на виході АЦП формується двійковий код  $N$ , що супроводжується сигналом «кінець перетворення»  $K_p$ . При наявності «прапорця», коли  $K_p = 1$ , мікропроцесор переписує значення двійкового коду в свою оперативну пам'ять ОЗП для подальшої обробки та представлення результатів вимірювання.

Сутність наведеного (рис. 1.5) алгоритму така.

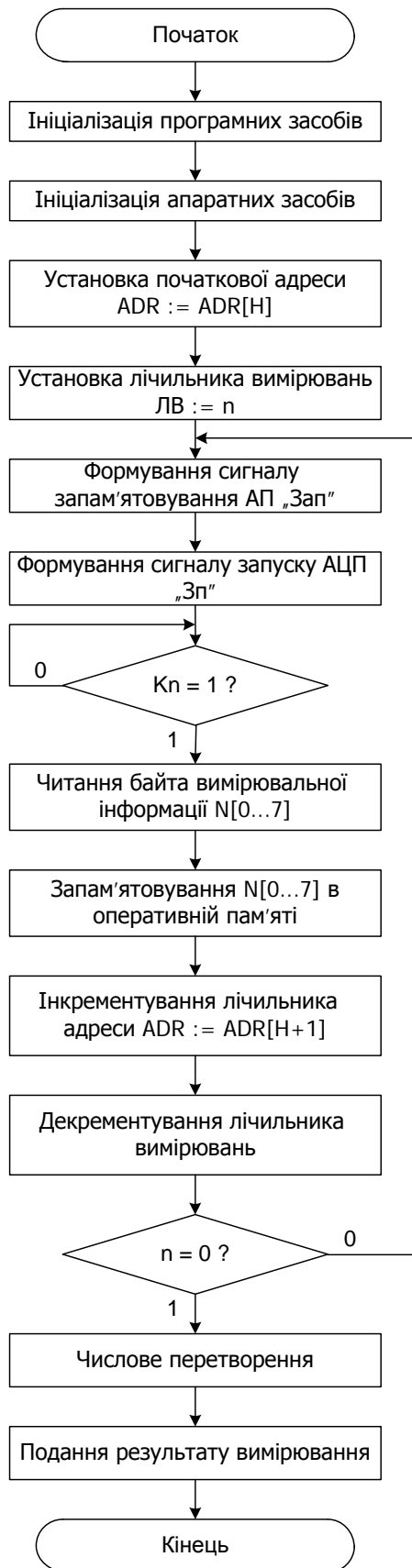


Рисунок 1.5 – Алгоритм роботи вимірювального каналу

## ЛІТЕРАТУРА

1. Контроль споживання електроенергії з урахуванням її якості / О. Г. Гриб, В. І. Васильченко, Ю. С. Громадський і ін. – Харків : ХНУРЕ, 2010. – 444 с.
2. Праховник А. В. Дослідження та визначення шляхів забезпечення достовірності даних в АСКОЕ / А. В. Праховник, О. В. Коцар // VII Науково-практична конференція «Метрологічне забезпечення обліку електричної енергії в Україні», К., 2009. – С. 13–41.
3. Автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії суб'єктів ОРЕ. Загальні вимоги. Стандарт ОРЕ / Затв. Радою Оптового ринку електричної енергії України, протокол № 15 від 27.01.2006 р.
4. Бессон А. Г. Счётчик электрической энергии системы Блати (O. Blathy) для переменных токов / А. Г. Бессон // Электричество, 1892, № 5–6, С. 77–81.
5. Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку. Інв. № 32/ 28/28/276/75/54, К., 2000. – 32 с.
6. Інформатизація електроенергетичних систем та електричних об'єктів / [Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, О. Ф. Буткевич, С. П. Денисюк] // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К. : ІЕД НАНУ. – 2007. – № 1(16), частина 1. – С. 9–19.
7. Гриневич Ф. Б. Розвиток досліджень в науковому напрямку «Інформаційно-вимірювальні системи та метрологічне забезпечення в електроенергетиці» / Ф. Б. Гриневич, С. Г. Таранов // Технічна електродинаміка. – 2007. – № 4. – С. 3–19.
8. Абрамов И. А. Разработка и исследование преобразователей параметров трехэлементных электрических цепей в унифицированные сигналы Дис. ... канд. техн. наук : 05.11.01 Пенза, 2001.
9. Виноградов А. Б. Автоматизация проектирования датчиков электрических величин как аппаратно-программных комплексов : Дис. ... канд. техн. наук : 05.13.12, 05.11.05 Ульяновск, 2000.

10. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 646 с.

11. Правила користування електричною енергією/ Затв. Постановою НКРЕ від 31.07.1996 № 28 (у редакції Постанови НКРЕ від 17.10.2005, № 910 із змінами і доповненнями відповідно до Постанови НКРЕ № 1497 від 22.11.2006 р.).

12. РД 34.11.325-90. Методические указания по определению погрешности измерения активной электроэнергии при ее производстве и распределении. – 15 с.

13. МИ 1317-86. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров. Методические указания. ГСИ. – 28 с.

14. Временная инструкция по учету электроэнергии / Минэнерго Украины, К., 1995. – 9 с.

15. Реформирование сектора энергетики Украины. Энергоучет и системы связи. Первоначальный отчет по требованиям, предъявляемым к энергоучету. Окончательный вариант. – К. : КЕМА, ЭПОН, ЭДОН, UNA, EZN, ТЕБОДИН. – 1995. – 29 с.

16. Реформирование сектора энергетики Украины. Процедура верификации. Проект. – К. : КЕМА, ЭПОН, ЭДОН, UNA, EZN, ТЕБОДИН. – 1995. – 35 с.

17. Реформирование сектора энергетики Украины. Энергоучет и системы связи. Энергоучет и системы связи на промежуточный период. – К. : КЕМА, ЭПОН, ЭДОН, UNA, EZN, ТЕБОДИН. – 1995. – 57 с.

18. Энергоучет и системы связи на долгосрочный период. Проект заключительного отчета. Подготовлен компаниями: КЕМА, ЭПОН, ЭДОН, ПАУЕР ПРОДЖЕКТС, (UNA, EZN), ТЕБОДИН. – К., 1996.

19. Концепція використання інформаційно-виміральної техніки для обліку електричної енергії в умовах функціонування ринку в Україні. Етапи I і II: УкрНТІ, Держреєстрація № 01960022544, Інв. № 0297ИОО1589. – К., 1996. – 27 с.

20. Концепція використання інформаційно-вимірювальної техніки для обліку електричної енергії в умовах функціонування ринку в Україні. Етапи III і IV: УкрНТІ, Держрегістрація № 01960022544, Інв. N 0297ИОО1589, К., 1997. – 19 с.

21. Преобразователи числа оборотов диска счётчиков электрической энергии в последовательность импульсов УП-2М, УП-3, УП-3М, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www. realnet. com. ua/docs/impuls. doc](http://www.realnet.com.ua/docs/impuls.doc).

22. Заратуйко А. В. Электронные счетчики электроэнергии на основе широтно-импульсных перемножителей / А. В. Заратуйко, В. У. Кизилев, И. И. Смилянский // Метрологія в електроніці – 97. Т. 1 : Тр. конф. – Х., 1997. – С. 143.

23. Кизилев В. У. Теория ШИМ с частотой, зависящей от сигнала / В. У. Кизилев // Информационные технологии : наука, техника, технология, образование, здоровье. Вып. 6. Ч. 1 : Сб. науч. тр. – Х. : ХГПУ, 1996. – С. 523–529.

24. Кизилев В. У. Анализ методических погрешностей время-импульсных множительных устройств с ШИМ-АИМ при преобразовании синусоидальных сигналов / В. У. Кизилев, И. И. Смилянский // Цифровая информационно-измерительная техника. Вып. 13 : Межвуз. сб. науч. тр. – Пенза, 1983. – С. 132–139.

25. Кизилев В. У. Применение время-импульсных квадраторов в измерителях мощности / В. У. Кизилев, И. И. Смилянский // Сб. тр. семинара «Локальные системы автоматики и вычислительной техники»: Вып. 1. – Х., 1976. – С. 107–121.

26. Бенин В. Л. Статические измерительные преобразователи электрической мощности / В. Л. Бенин, В. У. Кизилев. – М. : Энергия, 1972. – 168 с.

27. Кизилев В. У. Измерительные преобразователи активной мощности энергообъектов / В. У. Кизилев, В. М. Максимов, И. И. Смилянский. – Х. : Вища школа, 1983. – 168 с.

28. Карасинский О. Л. Алгоритм измерения мощности, ориентированный на реализацию в микроконтроллерах / О. Л. Карасинский, Ю. Ф. Тесик // Техн. електродинаміка. – 2001. – № 1. – С. 76–78.
29. Карасинский О. Л. Алгоритм измерения реактивной мощности, ориентированный на реализацию в микроконтроллерах / О. Л. Карасинский, Ю. Ф. Тесик // Техн. електродинаміка. – 2001. – № 4. – С. 75–77.
30. Абрикосов А. А. Основы теории металлов / А. А. Абрикосов. – М. : Наука, главная редакция физико-математической литературы, 1987. – 520 с.
31. Статические счётчики ватт-часов активной энергии переменного тока (классы точности 0,2S и 0,5S): ГОСТ 30206-94 (МЭК 687-92). [Чинний від 29.12.2000]. – К. : Госстандарт Украины, 2001. – 48 с.
32. Статические счётчики ватт-часов активной энергии переменного тока (классы точности 1 и 2): ГОСТ 30207-94. [Чинний від 29.12.2000]. – К. : Госстандарт Украины, 2001. – 48 с.
33. Варський Г. М. Вхідні перетворювачі струму статичних лічильників електроенергії / Г. М. Варський, Є. М. Танкевич // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К. : ІЕД НАНУ. – 2006. – № 2 (14). – С. 142–145.
34. Вимоги до точності вхідних перетворювачів струму багатофункціональних мікропроцесорних лічильників електроенергії / [Г. М. Варський, Є. М. Танкевич, І. В. Яковлева, М. П. Березянський] // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К. : ІЕД НАНУ. – 2003. – № 3(6) – С. 86–91.
35. Математическая модель электромагнитных процессов в измерительных преобразователях тока и определение её характеристик / [Б. С. Стогний, Н. А. Селехман, Е. Н. Танкевич, А. М. Синякова] // Техническая электродинамика 1993. – № 2. – С. 58–61.
36. Моделирование трансформаторов тока в переходных и установившихся режимах / [Ю. И. Мороз, С. Е. Зирка, А. М. Заславский, Б. С. Стогний] // Технічна електродинаміка. – 2003. – № 6. – С. 7–12.



37. Patent 2.428.613 US / Voyajian A.; 18-th October, 1943.
38. Мазманян Р. О. Кубические сплайны в алгоритмах цифровой обработки информации встроенных средств измерительных систем / Р. О. Мазманян // Технічна електродинаміка, 2007. – № 4. – С. 75–78.
39. Шелепень Т. М. Дослідження характеристик первинних вимірювальних перетворювачів струму методами скінчених елементів / Т. М. Шелепень, С. В. Кладницький // Технічна електродинаміка 2002. – № 6. – С. 61–66.
40. Quint – Новые технологии катушек Роговского для счётчиков электроэнергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.galant-e.ru/news/index.khtml>.
41. Варський Г. М. Методи та схеми випробувань трансформаторних перетворювачів струму статичних лічильників електроенергії / Г. М. Варський, Є. М. Танкевич, В. К. Косенко // Технічна електродинаміка. – 2006. – № 2. – С. 71–75.
42. Танкевич Є. М. Вимірювання струмів в трифазних вимірювальних комплексах потужності та електроенергії / Є. М. Танкевич, І. В. Яковлева // Технічна електродинаміка. – 2007. – № 1. – С. 58–61.
43. Танкевич Є. М. Вплив структури і компонентів вимірювального каналу на достовірність обліку електроенергії в різних режимах / Є. М. Танкевич, І. В. Яковлева // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К. : ІЕД НАНУ – 2006. – № 2 (14). – С. 65–68.
44. Гинайло В. А. Особенности влияния измерительных трансформаторов на учет электроэнергии в сетях напряжением 6-35 кВ / В. А. Гинайло, Е. Н. Танкевич, И. В. Яковлева // Избранные докл. Первой междунар. конф. «Инвестирование в энергетику и энергосбережение: энергоэффективные технологии и оборудование, финансовые и правовые аспекты». – Ялта : МПНВП «Электромеханика». – 2005. – С. 104–110.
45. Учет электроэнергии двухэлементным счетчиком / [Е. Н. Танкевич, Г. М. Варский, И. В. Яковлева, В. А. Гинайло] // Энергетика и электрификация. – 2006. – № 1. – С. 32–37.

46. Підвищення достовірності обліку електроенергії в різних схемах вимірювання / [Є. М. Танкевич, Г. М. Варський, І. В. Яковлева, В. О. Гінайло] // Гідроенергетика України. – 2005. – № 4. – С. 21–26.

47. Зирка С. Е. Алгоритмы моделирования гистерезиса в задачах магнетодинамики / С. Е. Зирка, Ю. И. Мороз // Технічна електродинаміка, 2002. – № 5. – С. 7–13.

48. Зирка С. Е. Моделирование магнитного гистерезиса на основе обобщённых правил Маделунга. Ч.1. Постановка задачи и состояние вопроса / С. Е. Зирка, Ю. И. Мороз // Технічна електродинаміка, 1999. – № 1. – С.22–27.

49. Стогний Б. С. О составляющих тока намагничивания трансформаторов тока с магнитопроводом из нанокристаллического сплава / Б. С. Стогний, В. В. Масляник // Технічна електродинаміка, 2007. – № 6. – С. 67–74.

50. Вапник В. Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным / В. Н. Вапник. – М. : Наука, 1979. – 756 с.

51. Михальский А. И. Восстановление статистических зависимостей осреднёнными сплайнами / А. И. Михальский. – ЖВМ, 1979 (19). – № 5. – С. 107–117.

52. Михальский А. И. Метод осреднённых сплайнов в задаче приближения зависимостей по эмпирическим данным / А. И. Михальский // Автоматика и телемеханика 1974. – № 3. – С. 45–50.

53. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей / Под редакцией В. Н. Вапника. – М. : Наука, 1984. – 815 с.

54. Zaslavsky A. M. The digital correction method of the non-linearity of measuring channels in an intellectual measuring gear / A. M. Zaslavsky, Y. V. Voytseshko // Actual Problems of Measuring Technique «Measurement – 98». Proceeding of the International Conference. – К. : NTUU «KPI», AUS DAAD, 1998. – P. 96–97.

55. Заславський О. М. Цифрова корекція нелінійностей трансформаторів струму в мікропроцесорних лічильниках електричної енергії/

О. М. Заславський, В. В. Кухарчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 2 (77). – С. 48–55.

56. Maxim Multi-Range ( $\pm 10V$ ,  $\pm 5V$ ,  $+10V$ ,  $+5V$ ), Single  $+5V$ , 12-Bit DAS with 8+4 Bus Interface, Maxim Integrated Products. Datasheet, 2001.

57. Analog Devices, Polyphase Energy Metering IC with Pulse Output – ADE 7752. Datasheet, 2003.

58. Заславський О. М. Оцінювання похибок трифазних мікропроцесорних лічильників електроенергії, зумовлених взаємовпливом вимірювальних каналів /О. М. Заславський, В. В. Кухарчук // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2008. – № 2. – С. 61–70.

59. Акцептованная заявка Японии № 5075269, МКИ G01R21/133, опубл. 20.10.93

60. Карасинский О. Л. Принципы построения быстродействующих устройств для измерения параметров электрических сетей / О. Л. Карасинский, Ю. Ф. Тесик // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К. : ІЕД НАНУ – 2005. – № 2 (11). – С. 84–86.

61. Тесик Ю. Ф. Применение дифференциального метода к измерению показателей качества электроэнергии / Ю. Ф. Тесик // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К. : ІЕД НАНУ. – 2007. – № 3 (12). – С.65–68.

62. Патент України на винахід № 28106, 1998. опубл. 16.10.2000. Бюл. № 5.

63. Патент России на изобретение № 2143701, опубл. 27.12.1999. Бюл. № 36.

64. Заславський О. М. Вимірювання електричної енергії методом безпосереднього інтегрування та подвійного сканування миттєвих значень струму та напруги / О. М. Заславський, В. В. Кухарчук // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2008. – № 1(15). – С. 191–196.

65. Zaslavsky A. M. Double scanning method in the problem of digital power measurement of an alternating current / A. M. Zaslavsky // Actual Problems of Measuring Technique «Measurement – 98». Proceeding of the International Conference. – K. : NTUU «KPI», AUS DAAD, 1998. – P. 86–87.

66. ДСТУ ІЕС 62053. Засоби вимірювання електричної енергії змінного струму. Спеціальні вимоги. Частина 22. Лічильники активної енергії статичні (класів точності 0,2 S і 0,5 S) (ІЕС 62053-22:2003, IDT).

67. Заславский А. М. Автоматизированные синтезаторы переменных токов и напряжений / А. М. Заславский, Л. П. Фещенко // Метрологічне забезпечення обліку електричної енергії в Україні: Матер. 3-ої наук.-практ. конф. –К. : А-Центр, 2001. – С. 139–142.

68. DIN 57870-1 VDE 0870-1:1984-07 Elektromagnetische Beeinflussung (EMV) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.vde-verlag.de/normen/0870000/din-57870-1-vde-0870-1-1984-07.html>.

69. Вагин Г. Я. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике / Г. Я. Вагин, А. Б. Лоскутов, А. А. Севостьянов. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 224 с.

70. Кафедра ЭСВТ ЭЛТИ. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.enin.tpu.ru/lib/ESVT\\_EMS.pdf](http://www.enin.tpu.ru/lib/ESVT_EMS.pdf).

71. Электронные электросчетчики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.electrik.org/print\\_204.php](http://www.electrik.org/print_204.php).

72. ДСТУ 34.002-96. Засоби вимірювання системного застосування в інформаційно-вимірювальних системах.

73. ГКД 34.35-97. Технические требования к системам коммерческого учета электроэнергии.

74. ІЕС 62056-21 Частина 21. Прямий локальний обмін даними (третья редакція ІЕС 61107).

75. ІЕС 62056-61. Частина 61. Система ідентифікації об'єктів OBIS.

76. ДСТУ (ГОСТ 2.601-2006). Эксплуатационные документы.
77. ДНАОП 0.00-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
78. ГОСТ 34-601 Автоматизированные системы. Стадии создания.
79. ГОСТ 24-602 Автоматизированные системы управления. Состав и содержание работ по стадиям создания.
80. ДСТУ ГОСТ 12.2.091-2004. Требования безопасности для показывающих и регистрирующих электроизмерительных приборов и вспомогательных частей к ним.
81. ГОСТ 22269-76. Система «человек–машина», Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
82. ДСТУ 2709 Державна система забезпечення єдності вимірювань. Автоматизовані системи керування технологічними процесами. Метрологічне забезпечення. Основні положення.
83. ДСТУ 3215. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення.
84. МПУ 019/08-01. Вимірювальні канали в комплексах технічних засобів автоматизованого обліку електричної енергії. Методика повірки.
85. РД 34.11.202-87. Измерительные каналы информационно-измерительных систем. Организация и порядок проведения метрологической аттестации. Методические указания.

*Наукове видання*

**Кухарчук Василь Васильович  
Заславський Олександр Михайлович**

**КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА  
ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

Монографія

Редактор Н. Мазур

Оригінал-макет підготовлено В. Кухарчуком

Підписано до друку 14.12.2012 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 8,78  
Наклад 100 прим. Зам № 2012-194

Вінницький національний технічний університет,  
КІВЦ ВНТУ,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-85-32.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті,  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-81-59  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.