

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ  
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

**СОЙМА МИХАЙЛО ВАСИЛЬОВИЧ**

УДК 621.3

**ЗНИЖЕННЯ ПОХИБОК ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ  
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З НЕЛІНІЙНИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ**

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**Автореферат**

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль  
2018

Роботу виконано на кафедрі електричної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

**Керівник роботи:** кандидат технічних наук, старший викладач  
**Поталіцин Сергій Юрійович,**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя

**Рецензент:** кандидат технічних наук, доцент кафедри приладів і  
контрольно-вимірювальних систем  
**Чайковський Андрій Вікторович,**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 26 грудня 2018 р. о 14<sup>00</sup> годині на засіданні екзаменаційної комісії №36 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46, навчальний корпус №7, ауд. 310

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми роботи.** Взаємовідносини між продавцем і покупцем будуються в першу чергу на кількісній, якісній та вартісній оцінці товару. Електрична енергія, що постачається енергопостачальними організаціями, виступає в якості товару, що характеризується збігом у часі процесів виробництва, транспортування і споживання. Разом з тим до електроенергії, як до товару будь-якого виду, застосовні поняття "кількість" і "якість". І зростаючі вимоги до точності обліку кількості електричної енергії при необхідній якості базуються на економічній основі.

У системах електропостачання з потужними нелінійними навантаженнями виникають режими, що негативно впливають на роботу засобів обліку електричної енергії: зниження рівня, коливання і несиметрія напруги живлення, спотворення синусоїдності кривих напруги і споживаного струму. Це піднімає проблему електромагнітної сумісності засобів обліку з впливають факторами на точність обліку.

В даний час зі зміною виробничо-економічної ситуації в країні, зміною структури ринку електричної потужності загострюються проблеми обліку електричної енергії, зростають вимоги до систем електропостачання (СЕС) за рівнем втрат.

Комплекс заходів щодо зниження невиробничих втрат електричної енергії включає в себе наступне:

- зниження втрат при генеруванні, транспортуванні і перетворенні електричної енергії;
- підвищення точності вимірювальних комплексів обліку електричної енергії.

І якщо перший захід достатньо вивчений, і зачіпає проблему модернізації генеруючих, передавальних, переробних потужностей і розподільчих мереж, то друге відноситься до переходу на інший якісний рівень технічних засобів обліку електричної енергії та їх здатності виконувати покладені функції в умовах практичної експлуатації.

Широко застосовуються в даний час лічильники електричної енергії розроблені і перевірені виходячи з припущення, що напруга в мережі є синусоїдальною функцією, і зміст вищих гармонік в струмі навантаження не перевищує 10%. На цьому ґрунтуються застосовувані в лічильниках матеріали і алгоритми обліку електроенергії. І якби всі електроприймачі володіли лінійної вольт-амперної характеристикою, то спотворень функції струму і напруги не існувало б, і умови роботи лічильників відповідали конструкції і вимогам нормативних документів. Однак більшість споживачів є нелінійними, і при включенні такого електроприймача в мережу в споживаній струмі і функції напруги живлення з'являються значний вміст вищих гармонік. І очевидно, що цей факт буде впливати на похибка приладу, призначеного для роботи в ланцюгах з практично синусоїдальними сигналами.

На підставі вищевикладеного існують наступні шляхи підвищення точності обліку електроенергії в системах обліку з нелінійним навантаженням:

- створення технічних засобів обліку електричної енергії менш чутливих до впливу факторів, що впливають на точність обліку і заміна ними існуючих;
- модернізація існуючих приладів обліку;
- розробка способів для зниження похибки вимірювальних комплексів електроенергії.

Найбільш оптимальним рішенням в сучасних економічних відносинах є два останніх шляхи, так як очевидно, що це вимагає мінімум матеріальних витрат.

**Мета роботи:** зниження похибки приладів обліку електричної енергії в умовах впливу вищих гармонік струму і напруги в системах електропостачання з переважаючим несинусоїдним навантаженням.

**Об'єкт, методи та джерела дослідження.** Основним об'єктом дослідження є процеси в системах електропостачання з несинусоїдним навантаженням. Методи виконання роботи: економіко-статистичний, графічний, порівняльний, математичного моделювання; теоретико-емпіричний.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

Встановлено, що істотний вплив на похибку лічильників електричної енергії потужностей 3, 5 і 7 гармонік.

Розроблено методику корекції похибки лічильників електричної енергії на основі аналізу змісту потужностей вищих гармонік.

**Практичне значення отриманих результатів.**

Розроблено стенд для дослідження похибки лічильників різних типів в умовах несинусоїдності струмів і напруг КЕ-Метрол і методики проведення досліджень.

**Апробація.**

1. Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 28-29 листопада 2018.- Т. 3. – 81.

**Структура роботи.** Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 8 частин, висновків, переліку посилань. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 117 арк. формату А4, графічна частина – 6 аркушів формату А1

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми наукових досліджень та охарактеризовано основні завдання, які необхідно вирішити.

В аналітичній частині проведено аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами, виконано постановку задачі на дипломну роботу.

В науково-дослідній частині розроблена методика розрахунку похибки лічильника на основі аналізу змісту потужностей вищих гармонік. Запропоновано метод компенсації потужностей вищих гармонік. Проведено Імітаційне моделювання системи електропостачання з нелінійним навантаженням і дослідження способів зниження похибки.

**В технологічній частині** розроблено методику проведення експериментальних досліджень впливу вищих гармонік на точність приладів обліку електричної енергії. Запропонована методика обробки експериментальних даних.

**В конструкторській частині** проаналізовано фактори, що впливають на похибку лічильників електричної енергії при несинусоїдних функціях струму і напруги. Проведено аналіз похибки в умовах впливу потужностей вищих гармонік. Розроблена математична модель похибки лічильника електричної енергії.

**В спеціальній частині** проведено дослідження похибки обліку електричної енергії викликаній впливом потужності вищих гармонік. Проведено вибір типу лічильника електричної енергії для роботи в умовах впливу потужностей вищих гармонік. Проведено корекція похибки лічильників на основі аналізу змісту потужностей вищих гармонік.

**В частині «Обґрунтування економічної ефективності»** обґрунтована економічна ефективність зниження похибки обліку при електропостачанні нелінійних споживачів.

**В частині «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»** розглянуто актуальні проблеми контролю за станом охорони праці при експлуатації світлового приладу, підвищення стійкості роботи об'єктів господарської діяльності під час надзвичайних ситуацій мирного часу.

**В частині «Екологія»** проаналізовано сучасний екологічний стан 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 рішення і організаційно-технічні заходи, які забезпечують виконання завдання на проектування; оригінальні технічні рішення, прийняті автором в процесі роботи; технічні рішення роботи, які можуть бути впроваджені у виробництво; техніко-економічні показники та їх порівняння з базовими.

## **ВИСНОВКИ**

1. Для усунення систематичної похибки лічильників електричної енергії, викликаній впливом несинусоїдних струмів і напруг, розроблені наступні способи: корекція показань лічильників на підставі аналізу змісту потужностей вищих гармонійних складових в контрольованому приєднанні; компенсація потужності вищих гармонійних складових пропорційним сигналом напруги частотою 50 Гц в вимірювальних ланцюгах, яку лічильник враховує з необхідною точністю.

2. Запропоновано візуалізована модель компенсаційного фільтра потужності вищих гармонік, з використанням середовища моделювання Simulink програми Matlab, що підтверджує достовірність розробленого способу усунення впливу потужностей вищих гармонійних складових на роботу лічильників електричної енергії.

3. Розроблено стенд КЕ-Метрол, апаратна і методична частина якого дозволяють:

- визначати характеристики гармонійних складових струму і напруги окремого електроспоживачів;

- проводити тестування лічильників електричної енергії в умовах впливу несинусоїдних струмів і напруги;

- використовуючи методи кластерного, кореляційного і регресійного аналізу проводити статистичну обробку даних, отриманих в ході обстеження реальних об'єктів, апроксимувати моделі похибки лічильників в умовах впливу комплексу гармонійних складових;

- проводити дослідження регресійних моделей похибки лічильників з використанням характеристик реальних об'єктів.

4. Дослідження узагальненої системи електропостачання показали, що потужний нелінійний споживач є генератором потужності вищих гармонік, які впливають на лічильники електричної енергії, підвищуючи їх похибка.

5. Дослідженнями роботи лічильників різних типів в умовах впливу несинусоїдальних сигналів струму і напруги встановлено, що в умовах відповідним реальній експлуатації, на похибка значний вплив мають потужності 3, 5 і 7 гармонік.

6. Запропоновано методику вибору лічильника електричної енергії з умови мінімального впливу потужності вищих гармонік на похибку.

7. Розроблено спосіб корекції похибки лічильників на основі аналізу змісту потужностей вищих гармонік з використанням апаратної і програмної частини стенду КЕ-Метрол, реалізація якого в мікропроцесорних лічильниках електричної енергії дозволить знизити їх похибка до рівня, що визначаються класом точності.

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

1. Сойма М.В. Вплив вищих гармонік в системах електропостачання на облік електричної енергії [Текст] / Поталіцин С.Ю., Сойма М. В. Тези доповіді на VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 28-29 листопада 2018.- Т. 3. – 81.

## АНОТАЦІЯ

Встановлено, що істотний вплив на похибку лічильників електричної енергії потужностей 3, 5 і 7 гармонік.

Розроблено методику корекції похибки лічильників електричної енергії на основі аналізу змісту потужностей вищих гармонік.

**Ключові слова:** лічильник, несинусоїдне навантаження, системи обліку, електрична енергія.

## ANNOTATION

It was established that significant influence on the error of the electric energy meters of the capacities of 3, 5 and 7 harmonics.

The technique of error correction of electricity meters is developed on the basis of the analysis of the content of capacities of higher harmonics.

**Key words:** counter, non-sinusoidal load, accounting system, electric energy.