

УДК 621.317

Г. Д. Братченко<sup>1</sup>, д.т.н., А. М. Попенака<sup>2</sup>, М. О. Петрище<sup>1</sup>, к.т.н., С. Л. Крутов<sup>3</sup><sup>1</sup>Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса<sup>2</sup>ТОВ «Туніка», м. Харків, <sup>3</sup>ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ

## ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОВІРКИ ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Проаналізовано сучасний стан метрологічного забезпечення електровимірювальних приладів. Запропоновано обладнання для автоматизованих робіт при дослідженнях метрологічних характеристик згаданих засобів вимірювальної техніки.

**Ключові слова:** цифровий вимірювальний перетворювач, якість електричної енергії, засіб вимірювальної техніки, базовий блок, вимірювання, метрологічне забезпечення.

Чинним в Україні стандартом [1], яким встановлюються вимоги до якості електричної енергії, визначаються також вимоги до обладнання, яким контролюються її параметри. На сьогоднішній день на ринку засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) достатньо широко представлені аналізатори якості електричної енергії, які призначено як для постійного моніторингу якості електричної енергії в комплектних розподільчих устаткуваннях (наприклад Diris A40, виробництва Socomec), так і для періодичного контролю (наприклад, Fluke 434 та Elspec G4400, відповідних виробників).

Враховуючи постійне зростання кількості таких ЗВТ в експлуатації актуальним питанням є їх метрологічне забезпечення. Традиційним методом повірки таких приладів є поелементна повірка за допомогою серійних радіо- та електровимірювальних приладів [2], що виключає можливість автоматизації таких робіт.

Метою роботи є розробка робочого еталону, який забезпечує комплексну повірку метрологічних характеристик згаданих аналізаторів.

Для вирішення такого завдання запропоновано вимірювально-обчислювальний комплекс (ВК) модульного складу (рис. 1), принцип якого базується на цифровій обробці сигналів, що визначено як перспективний метод створення еталонів в галузі електричних вимірювань [2]. В роботі ВК застосовано принцип векторних вимірювань, які починають застосовуватися для вимірювання електроенергетичних параметрів [3].

До складу ВК входять три цифрові вимірювальні перетворювачі (ЦВП) струму, три ЦВП напруги, базовий блок, синтезатор тестових сигналів (СТС) та персональний комп'ютер (ПК).

ЦВП призначені для вимірювання миттєвих значень відповідних величин. До складу кожного ЦВП входять масштабний перетворювач, преци-

зійний аналого-цифровий перетворювач (ПАЦП), швидкодіючий аналого-цифровий перетворювач (ШАЦП), блок гальванічного розділення кіл та інтерфейс USB.

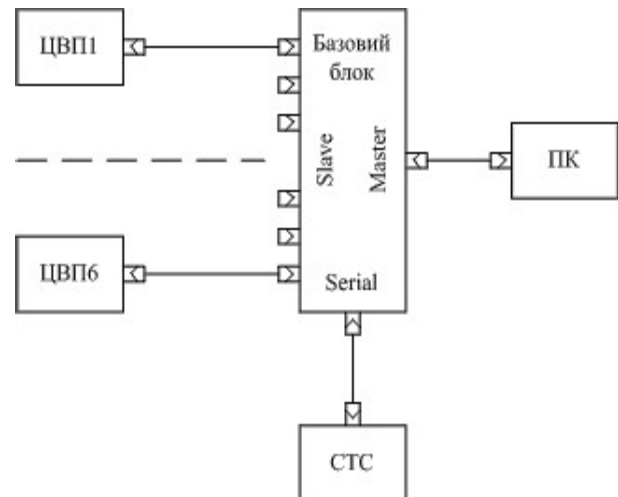


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема вимірювально-обчислювального комплексу

ПАЦП є основним елементом ЦВП та забезпечує метрологічні характеристики ЦВП при вимірюванні напруги або сили постійного (в режимі роботи з частотою дискретизації 1,4 кГц) та змінного (в режимі роботи з частотою дискретизації 13 кГц) струму. ШАЦП призначений для вимірювання сигналів з високим коефіцієнтом нелінійних спотворень (частота дискретизації 77 кГц). Блок гальванічного розділення кіл та інтерфейс USB забезпечують безпечне підключення ЦВП до базового блоку. Вихідними сигналами ЦВП є потоки миттєвих значень вхідних сигналів у вигляді цифрового коду. Нормовані метрологічні характеристики ЦВП визначають метрологічні характеристики ВК.

Базовий блок призначений для вимірювання часових інтервалів та частоти, підключення та живлення ЦВП, а також для керування СТС. Для вимірювання часових інтервалів та частот в базовому блоці встановлено джерело опорної частоти, при цьому існує можливість використання будь-якого зовнішнього джерела каліброваної частоти. В разі відсутності опорної частоти використовується системна частота ПК, в цьому разі результати вимірювання частот та інтервалів часу є інформативними (похибка вимірювання не нормується). Базовий блок містить пристрій для генерації сигналу прямокутної форми з заданою користувачем частотою. Вихідна частота може бути встановлена як постійна, так і змінна у відповідності до виміряних комплексом параметрів (наприклад, частота пропорційна виміряній потужності, аналогічно до еталонних лічильників електричної енергії).

СТС призначений для відтворення випробувальних режимів із заданими параметрами (амплітудні та діючі значення напруги та сили струму, кути зсуву фаз, амплітудні та фазові спектри сигналів тощо) при дослідженні метрологічних характеристик аналізаторів якості електричної енергії та інших електровимірювальних приладів (амперметрів, вольтметрів, ватметрів, фазометрів, синхроскопів, лічильників електричної енергії тощо). В разі підключення виходу СТС до входу ЦВП комплекс може функціонувати в режимі калібратора: обрані параметри випробувальних режимів автоматично регулюватимуться у відповідності із заданими значеннями.

ПК використовується для керування всіма компонентами комплексу, обчислення похідних величин, протоколювання та наочного відображення результатів вимірювання.

Робота ВК базується на синхронному вимірюванні первинних величин, що характеризують вимірювані сигнали: миттєвих значень напруги, сили струму та часових інтервалів. Отримані первинні дані є базовими для обчислення наступних похідних величин: діючих значень напруги та сили струму, активної, реактивної, повної потужності та енергії, частоти напруги та сили змінного струму, амплітудних та фазових характеристик гармонійного складу напруги та струму, провалів напруги та тимчасового перенапруження, коливань напруги та інших параметрів якості електричної енергії. Програмне забезпечення дозволяє доповнювати перелік та правила обчислення похідних величин (в першу чергу це актуально при вимірюванні реактивної енергії, оскільки на сьогоднішній день не існує згоди щодо її обчислення).

Комплекс оперує двома типами даних: сигнал і параметр. Сигнал – це іменованний спектр заданої користувачем ширини у вигляді набору комплексних чисел – однозначно описує поведінку фізичної величини за період вимірювання. Над сигналами можуть виконуватися арифметичні операції – додавання, віднімання, множення, фільтрація, результатом яких є інші сигнали. Наприклад, сигнал «потужність» - це добуток сигналів «напруга» і «струм». Сигнал «струм нейтралі» може бути отриманий двома способами: як сума сигналів фазних струмів, і як результат безпосереднього векторного вимірювання. Параметр – іменоване дійсне число, кількісна характеристика сигналу. Над параметрами може виконуватися широкий спектр математичних операцій.

У кожному періоді на послідовності миттєвих значень, отриманих з ЦВП, обчислюється дискретне перетворення Фур'є. Отриманий спектр з номерами гармонік  $i = A, A + 1, \dots, B-1$ , В присвоюється певному вихідному сигналу. Ім'я сигналу та границі спектру задаються користувачем.

Після обробки всіх потоків миттєвих значень за правилами, заданими користувачем, обчислюються похідні сигнали. Всі подальші обчислення проводяться на основі отриманих спектрів. Наприклад, обчислення активної потужності  $i$ -тої гармоніки здійснюється за формулою

$$P_i = U_i \cdot I_i \cdot \cos \varphi_{U_i I_i}, \quad (1)$$

де  $U_i$ ,  $I_i$ ,  $\cos \varphi_{U_i I_i}$  – напруга, сила струму  $i$ -тої гармоніки та зсув фаз між ними.

Розширена невизначеність вимірювання у відносній формі при цьому визначається за формулою

$$\delta_{P_i} = k_P \sqrt{\frac{\delta_{U_i}^2}{3} + \frac{\delta_{I_i}^2}{3} + (100 \cdot \Delta_{\varphi_i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{U_i I_i})^2}, \quad (2)$$

де  $k_P$  – коефіцієнт покриття, що залежить від заданої довірчої імовірності, до закону розподілу невизначеності;  $\delta_{U_i}$ ,  $\delta_{I_i}$  – нормовані основні відносні похибки комплексу при вимірюванні діючих значень напруги та сили струму,  $\Delta_{\varphi_i}$  – сумарна стандартна невизначеність вимірювання кута зсуву фаз між струмом та напругою  $i$ -тої гармоніки, що визначається за формулою

$$\Delta_{\varphi_i} = 2\pi \cdot f_i \cdot \sqrt{\Delta_{IU}^2 + \Delta_{II}^2} \quad (3)$$

де  $f_i$  – частота  $i$ -тої гармоніки,  $\Delta_{IU}$ ,  $\Delta_{II}$  – нормовані похибки датування відліку ЦВП напруги та струму відповідно.

При вимірюванні інтергармонік дискретне перетворення Фур'є обчислюється не на кожному періоді, а на групі з  $L$  періодів, де  $L$  – коефіцієнт ділення частоти синхросигналу. В отриманому спектрі складова з номером  $i$  відповідає гармоніці або інтергармоніці вихідного сигналу з номером  $i/L$ . Вимірювання проводиться протягом заданого цілого числа періодів.

Після закінчення процесу вимірювання будуються графіки і розраховуються задані користувачем параметри сигналів. Розраховані параметри зберігаються в протокол або піддаються статистичній обробці, результат якої також може бути збережений до протоколу.

ВК дозволяє візуалізувати результати вимірювань та обчислень. Існує можливість побудови векторних діаграм, графіків форм кривих напруги, сили струму, потужності, їх спектрів, графіків зміни параметрів електричних сигналів у часі, графіка розподілу результатів вимірювання, графіків залежності одних результатів спостережень від інших (наприклад, графік залежності похибки вольтметра від напруги).

Програмне забезпечення дозволяє математичну обробку та документування результатів вимірювання, зокрема є можливість розрахувати середньоквадратичне відхилення результату вимірювання та апроксимувати залежність одних результатів від інших степеневим поліномом.

## Висновок

Розроблений ВК дозволяє вирішити питання автоматизації при визначенні метрологічних характеристик під час проведення повірки або державної метрологічної атестації багатьох типів електровимірювальних приладів.

Впровадження розробленого ВК в роботу метрологічних центрів сприятиме зменшенню часових витрат та підвищенню ефективності цього ряду метрологічних робіт.

## Список використаних джерел

1. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах общего электроснабжения. – Введ. 1999-01-01. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 1996. – 315 с. – (Межгосударственный стандарт).

2. Захаров И. П. Эталоны в области электрорадиоизмерений. // И. П. Захаров, Ю. Ф. Павленко – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 192 с.

3. Яковлева И. В. Математичне моделювання каналів вимірювання векторів напруги в системах керування електроенергетичних об'єктів / І. В. Яковлева, Є. М. Танкевич, Г. М. Варський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – С. 58-61.

*Надійшла до редакції 20.10.2013*

**Рецензент:** д.т.н., професор Величко О. М., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса.

**Г. Д. Братченко, д.т.н., А. Н. Попенака, Н. А. Петрище, к.т.н., С. Л. Крутов**

## ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОВЕРКИ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

*Проанализировано современное состояние метрологического обеспечения электроизмерительных приборов. Предложено оборудование для автоматизированных работ при исследованиях метрологических характеристик упомянутых средств измерительной техники.*

**Ключевые слова:** цифровой измерительный преобразователь, качество электрической энергии, средство измерительной техники, базовый блок, измерение, метрологическое обеспечение.

**G. D. Bratchenko, DSc, Popenaka A. M., M. O. Petrische, PhD, S. L. Krutov**

## MEASURING AND COMPUTING COMPLEX FOR VERIFICATION OF MEASURING DEVICES

*The paper analyzes the modern state of metrological assurance of measuring devices. Equipment for automated work in study of metrological characteristics of the mentioned metering technology is proposed.*

**Keywords:** digital measuring transducer, quality of electricity, means of measuring technique, the base unit, measurement, metrological assurance.