

**В.В. Гніліцький, к.т.н., доц.
Р.В. Петросян, ст. викл.
М.В. Петросян, асист.**

Житомирський державний технологічний університет

РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ВИМІРУ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Розроблено структурну схему засобів виміру коефіцієнта зворотньої, нульової послідовностей і відхилення напруги. Для зниження витрат обчислювальних ресурсів і, як наслідок, підвищення швидкодії засобів виміру цих показників якості електроенергії реалізацію пропонується виконати на основі цифрових фільтрів симетричних складових.

Постановка проблеми. Електроенергія є особливим видом товару і має ряд специфічних властивостей. Як будь-яка продукція, електроенергія характеризується якістю, й існує право споживачів знати про якість використовуваної електроенергії (постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження правил користування електричною енергією для населення» № 1357 від 26.07.1999 р.).

Для нормалізації показників якості електроенергії (ПЯЕ) із 1.01.2000 р. у нашій країні наказом Держстандарту України від 18.06.1999 р. № 354 введено у дію як державний стандарт ГОСТ 13109–97 [1]. Але успішне вирішення проблеми неможливе без оснащення організацій засобами виміру, що дозволили б проведення заходів, спрямованих на нормалізацію ПЯЕ відповідно до прийнятого стандарту.

У останні десять років роль і значення обчислювальної техніки в житті сучасного суспільства різко збільшилися і постійно зростають: системи керування технологічними процесами, медичне діагностичне устаткування, засоби збору й обробки інформації тощо. Тому дуже важливо розробити сучасні засоби виміру з використанням цифрової обробки відповідно до стандарту [1] на базі мікропроцесорних пристроїв. Це дозволить спростити використання пристрою та підвищити точність виміру (швидкодію).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для оцінки ПЯЕ досить мати в наявності такі засоби виміру, як вольтметри, частотоміри і спектроаналізатори. Але такий підхід можна застосовувати тільки в лабораторних умовах. У той же час ще існує і продовжує використовуватися великий парк приладів, що залишилися з часів СРСР: вимірювач відхилення напруги "43203", аналізатор гармонік електричної мережі "43250", вимірювач несиметрії "43204", аналізатор якості електроенергії ІВК "Омськ".

Засоби виміру "43203", "43204" реалізовані на основі фільтрів симетричних складових (ФСС) із використанням аналогової елементної бази. Недоліки аналогової техніки досить добре відомі: великі габарити, низька завадостійкість, складність апаратної реалізації, схильність до впливу навколишнього середовища і т. д. Реалізація цифрових вимірювальних пристроїв дозволяє усунути недоліки, властиві аналоговим приладам. До таких пристроїв відноситься аналізатор якості електроенергії ІВК "Омськ" [2]. Прилад призначений для визначення наступних ПЯЕ: відхилення напруги, коефіцієнта несинусоїдальності напруги, коефіцієнтів гармонійних складових напруги в діапазоні від 2-ї до 40-ї гармоніки, коефіцієнтів зворотньої і нульової послідовностей напруг. Всі зазначені засоби виміру є морально застарілими і не задовольняють вимоги стандарту [1].

Існує ряд закордонних фірм ("Fluke", "Dranetz", "Lem") [3], що випускають засоби виміру ПЯЕ: спеціалізовані мультиметри, спектроаналізатори, реєстратори, вимірювальні системи тощо. Основні їхні недоліки – відносно висока ціна (тисячі у. о.), а також жодний із західних приладів не відповідає цілком стандарту. З уведенням стандарту [1] у країнах СНД були початі роботи з розробки засобів виміру, що йому відповідають. Розроблені прилади [3] хоча і задовольняють стандарт, але функціонально більш складні, ніж закордонні, тому їхня вартість також знаходиться на досить високому рівні. Багато приладів громіздкі й вимагають великих обчислювальних ресурсів, у результаті чого можуть використовуватися тільки в стаціонарних умовах, і розв'язок багатьох задач стає неможливим. Як наслідок – мала поширеність приладів.

Основна причина витрат обчислювальних ресурсів у приладах даного класу – застосування дискретного перетворення Фур'є [4]. Якщо для виміру коефіцієнта несинусоїдальності і коефіцієнтів гармонійних складових напруги це виправдано, то для виміру коефіцієнтів зворотньої, нульової послідовностей напруг і відхилення напруги застосування даного підходу не раціональне, оскільки для обчислення даних ПЯЕ необхідно мати тільки значення основної гармоніки всіх трьох фаз.

Формулювання цілей статті. Для зниження витрат обчислювальних ресурсів і, як наслідок, підвищення швидкодії засобів виміру ПЯЕ (коефіцієнта зворотньої, нульової послідовностей напруги і відхилення напруги) реалізацію їх пропонується виконати на основі цифрових фільтрів симетричних складових, запропонованих у [5, 6].

Виклад основного матеріалу. Створення засобів виміру ПЯЕ – завдання не з простих. Основу приладу складе мікропроцесор. Застосування в засобах виміру мікропроцесора дозволяє використовувати його не тільки для керування процесом обробки вимірювальної інформації, але і для таких операцій, як лінеаризація функції перетворення, корекція адитивних і мультиплікативних систематичних похибок, статистична обробка, що в цілому дозволяє поліпшити метрологічні характеристики приладу. Таким чином, мікропроцесор може виконувати функції як блока управління (БУ), так і арифметичного пристрою (АП).

Однак для виконання необхідних функцій мікропроцесором необхідні алгоритми, а згодом і програмна реалізація цифрової обробки сигналів. Для реалізації виміру коефіцієнта зворотної і нульової послідовностей напруги рекомендується виконання процедури, поданої на рис. 1, робота якої докладно описана в [6]. Для обробки досить застосування нерекурсивних фільтрів 12–16 порядку.

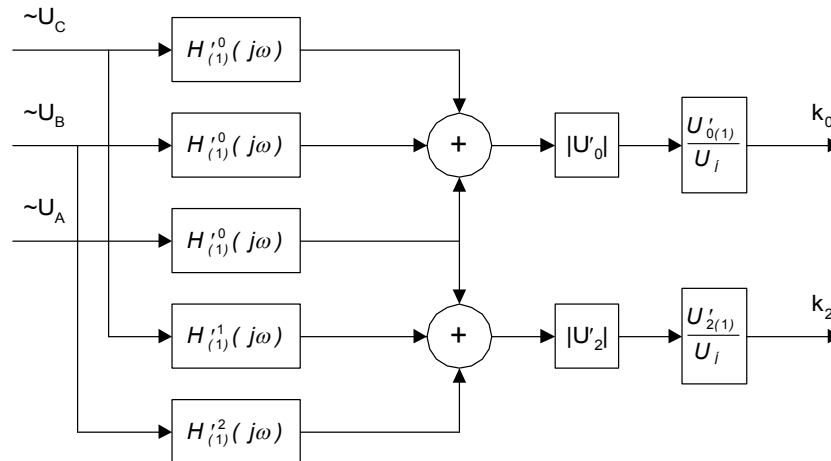


Рис. 1

Цифрова обробка пов'язана з представленням будь-якого сигналу у вигляді послідовності чисел певної розрядності. Дане перетворення забезпечує аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Процес перетворення складається з двох етапів: дискретизації за часом і квантуванням за рівнем.

Дискретизація за часом (або дискретизація) є процедурою узяття миттєвих значень вихідного аналогового сигналу через рівні проміжки часу, названі періодом дискретизації. Отримані миттєві значення аналогового сигналу називаються вибірками (відліками). Чим менший період дискретизації, тим точніше аппроксимується вхідний сигнал, тим більше відліків буде отримано, а, отже, необхідний більший об'єм оперативного запам'ятовуючого пристрою (ОЗП). Тому при виборі періоду дискретизації необхідно шукати компроміс між точністю реалізації та об'ємом ОЗП.

Період дискретизації визначається на основі частоти дискретизації відповідно до виразу (1)

$$T = \frac{1}{f_d} \tag{1}$$

Однак існує обмеження на мінімальне значення частоти дискретизації. Це обмеження обумовлене теоремою Котельникова [4] (у закордонній літературі відома як теорема Найквіста). Відповідно до даної теореми необхідно і достатньо, щоб частота дискретизації була як мінімум у два рази більшою від найвищої частоти в спектрі аналогового сигналу, тобто

$$f_d \geq 2F_{MAX} \tag{2}$$

де F_{MAX} – максимальна частота спектра аналогового сигналу.

Звідси випливає, що при безкінечному спектрі дискретизація неможлива. Проте у спектрі будь-якого кінцевого сигналу є такі вищі гармонійні складові, потужність котрих, починаючи з деякої верхньої частоти, має незначні розміри або може бути усунутою, тому ними можна знехотити без помітного спотворення самого сигналу. Як було вже сказано, для виміру коефіцієнта зворотної, нульової послідовностей і відхилення напруги необхідно мати тільки значення основної гармоніки всіх трьох фаз, тому частота дискретизації для приладів даного класу відповідно до (2) вибирається в діапазоні 150–300 Гц.

Наявність вищих гармонік у складі сигналу призведе до спотворення спектра внаслідок ефекту накладення (aliasing). Обмеження спектра здійснюється за допомогою аналогового фільтра нижніх частот, що отримав назву антиалайсінгового, тому обов'язковим є включати до складу пристроїв, що

використовують цифрову обробку, такий фільтр перед АЦП. В часовій області ефект накладення означає необоротну втрату можливості точного відновлення аналогового сигналу за його відліками.

Квантування відліків по рівнях (або квантування) робиться з метою формування послідовності чисел: весь діапазон зміни величини відліків розбивається на деяку кількість дискретних рівнів і кожному відліку присвоюється значення одного з двох найближчих рівнів квантування, між якими виявляється даний відлік. У результаті чого виникає похибка квантування $\Delta_{\epsilon\delta} = u(m) - z(m)$, де $u(m)$ – послідовність миттєвих значень аналогового сигналу, $z(m)$ – оцифрована послідовність значень аналогового сигналу.

Похибка квантування буде тим менша, чим більше рівнів квантування, тобто чим більша розрядність АЦП. Максимальна похибка квантування при використанні округлення дорівнює половині кроку квантування [4]

$$|\Delta_{\epsilon\delta}|_{\text{MAX}} = \frac{q}{2},$$

де q – шаг квантування.

При цифровій обробці процес квантування розглядається як адитивний шум. Розподіл даного шуму є близьким до рівномірного закону [4]. Тому середньоквадратична похибка, що виникає при квантуванні, визначається відповідно до виразу (3):

$$\sigma_{\epsilon\delta} = \frac{q}{2\sqrt{3}}, \quad (3)$$

отже, для обмеження середньоквадратичної похибки необхідно вибрати розрядність АЦП таку, щоб ця похибка не перевищувала необхідний рівень, тобто

$$B_{\text{АЦП}} = \left\lceil \log_2 \frac{1}{2\sqrt{3}\sigma_{\epsilon\delta}} \right\rceil, \quad (4)$$

де $B_{\text{АЦП}}$ – розрядність АЦП за умови, що вхідна послідовність нормована ($\max_{m \geq 0} |z(m)| \leq 1$);

$\lceil \cdot \rceil$ – округлення до більшого цілого.

Аналіз показав, що при визначенні основних ПЯЕ, розрядність АЦП відповідно до виразу [4] повинна бути не менша 14.

Для надходження аналогового сигналу в АЦП необхідно виконати узгодження. Вузол узгодження та аналоговий фільтр нижніх частот (антиелайсінговий) утворюють вхідний пристрій (ВП).

Результат обробки даних відображається на блоці індикації (БІ). Основними операціями при обробці є арифметичні, кількість яких для одержання результату може бути досить великою, тому АП повинен працювати на більш високій тактовій частоті, ніж частота дискретизації, щоб встигнути виконати всі необхідні операції до надходження чергового вхідного відліку.

Для виміру ПЯЕ необхідно забезпечити оцифровку напруг усіх трьох фаз. Це можна забезпечити двома основними способами: використовувати в складі пристрою три АЦП або використовувати аналоговий комутатор для подачі всіх сигналів на один АЦП. Перший варіант забезпечує мінімальну похибку, але в зв'язку з тим, що АЦП є одним із дорогих вузлів схеми, такий варіант менш раціональний. Однак другий варіант не забезпечує одержання миттєвих значень у єдиний момент часу, що потребує деякого ускладнення алгоритму обробки [7].

Додатковий аналіз ПЯЕ, проведення статистичних досліджень, архівування даних, організацію баз даних і т. п. можна виконати, забезпечивши передачу даних на ЕОМ із використанням пристрою зв'язку (ПЗ): RS232, USB і т. д.

Таким чином, узагальнену структурну схему пристрою виміру можна представити в наступному вигляді (рис. 2):

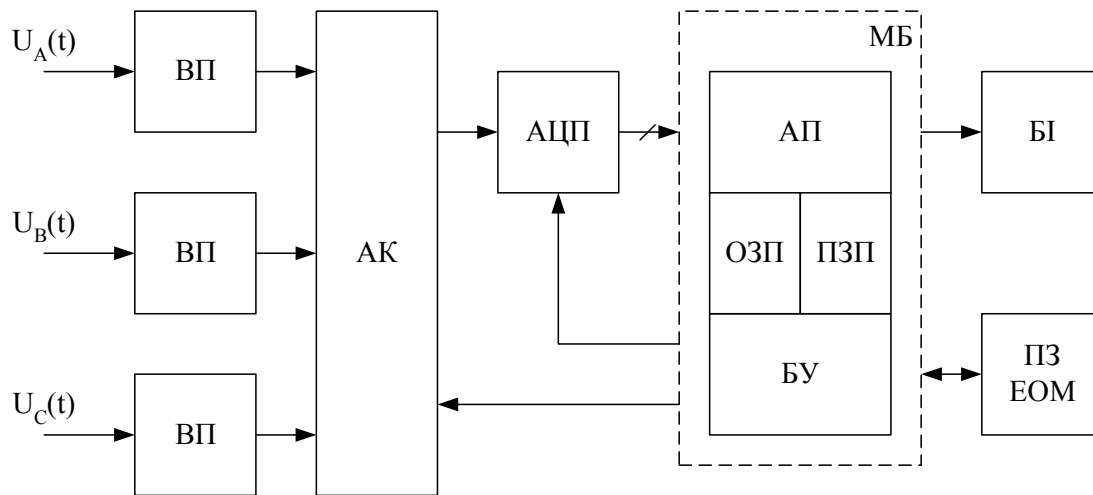


Рис. 2

Висновки. Реалізація засобів виміру (коефіцієнта зворотної, нульової послідовностей напруги) відповідно до структурної схеми (рис. 2) на основі нерекурсивних цифрових фільтрів (рис. 1), дозволяє знизити обчислювальні витрати (підвищити швидкодію). Для досягнення необхідної точності необхідно, щоб: частота дискретизації знаходилася в діапазоні 150–300 Гц, порядок цифрових фільтрів був не менший 12, а розрядність АЦП не менша 14.

ЛІТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 13109–97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Взамен ГОСТ 13109–87. – Введ. 2000-0101. – Минск : Изд-во стандартов, 1999. – 31 с.
2. Никифорова В.Н. Состояние и перспективы развития средств измерений показателей качества электроэнергии / В.Н. Никифорова // Сборник информационно-методических материалов семинара «Метрологическое обеспечение электрических измерений в электроэнергетике». – М. : ВНИИЭ. – 1998.
3. Карташев И.И. Современные средства измерений показателей качества электроэнергии / И.И. Карташев, И.С. Пономаренко, В.Н. Ярославский // Сборник информационно-методических материалов семинара «Метрологическое обеспечение электрических измерений в электроэнергетике». – М. : ВНИИЭ. – 1999. – С. 173–188.
4. Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л.Рабинер, Б.Гоулд. – М. : Мир, 1978. – 848 с.
5. Петросян Р.В. Застосування нерекурсивних цифрових фільтрів для виміру несиметрії у трифазних мережах електроенергії / Р.В. Петросян // Вісник ЖІТІ / Технічні науки. – 1999. – № 11. – С. 164–168.
6. Петросян Р.В. Застосування нерекурсивних цифрових фільтрів з лінійною фазою для виміру несиметрії у трифазних мережах електроенергії / Р.В. Петросян // Вісник ЖІТІ / Технічні науки. – 2000. – № 14. – С. 204–205.
7. Петросян Р.В. Про одну помилку виміру симетричних складових і засіб її зменшення / Р.В. Петросян // Вісник ЖІТІ / Технічні науки. – 2003. – № 1 (24). – С. 160–163.

ГНІЛЦЬКИЙ Віталій Васильович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматики і управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- цифрова обробка сигналів;
- інформаційні системи.

ПЕТРОСЯН Руслан Валерійович – викладач кафедри автоматики і управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- мікропроцесорна техніка та системне програмування;
 - цифрова обробка сигналів;
 - вимірювальна техніка;
 - теорія автоматичного управління;
 - розробка електронних пристроїв.
- E-mail: e_rvs@ukr.net

ПЕТРОСЯН Марина Вікторівна – асистент кафедри автоматичного управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- мікропроцесорна техніка та програмування;
- цифрова обробка сигналів;
- теорія автоматичного управління.

Подано 10.12.2009

Гнілицький В.В., Петросян Р.В., Петросян М.В. Розробка засобів виміру показників якості електроенергії

Гнилицкий В.В., Петросян Р.В., Петросян М.В. Разработка средств измерения показателей качества электроэнергии

Gnilitsky V.V., Petrosyan R.V., Petrosyan M.V. Development of measuring tools of indicators of quality of the electric power

УДК 621.317

Разработка средств измерения показателей качества электроэнергии / Р.В. Петросян

Разработана структурная схема средств измерения коэффициента обратной, нулевой последовательностей и отклонения напряжения. Для снижения затрат вычислительных ресурсов и как следствие повышение быстродействия средств измерения этих показателей качества электроэнергии, реализацию предлагается выполнить на основе цифровых фильтров симметричных составляющих.

УДК 621.713

Development of measuring tools of indicators of quality of the electric power / V.V. Gnilitsky, R.V. Petrosyan, M.V. Petrosyan

The flow diagram of measuring facilities of reverse, zero sequences coefficients and rejection of tension is developed. For the decline of expenses of calculable resources and as a result increase of fast-acting of measuring facilities of these indexes of electric power quality, it is suggested to execute realization on the basis of digital filters of symmetric constituents.