

УДК 621.317.32

Ю. В. Крушевський, к. т. н., доц.; О. А. Костюк; А. І. Войтенко**ДО ПИТАННЯ ВИМІРЮВАННЯ СЕРЕДНЬОКВАДРАТИЧНОГО
ЗНАЧЕННЯ НАПРУГИ**

У статті розроблено алгоритм вимірювального перетворення напруги сигналу при оцінюванні його середньоквадратичного значення (СКЗН) та запропоновано структурну електричну схему пристрою реалізації цього алгоритму.

Ключові слова: середньоквадратичне значення напруги, постійна і змінна складові, гармоніки.

Вступ

Вимірювальна операція перетворення вимірюваного змінного електричного сигналу в постійну напругу є однією з найрозповсюдженіших у техніці електро- та радіовимірювань. При цьому особлива увага приділяється оцінюванню сигналів довільної форми по рівню середньоквадратичного значення їх напруг, оскільки середньоквадратичне значення є фундаментальною фізичною характеристикою процесу [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Під час вимірювання СКЗН використовують перетворювачі як з лінійною, так і з нелінійною функціями перетворювань [1]. Переваги та недоліки останніх докладно розглянуті в [1].

У [2] значна увага приділяється розгляду особливостей та реалізації 19 базових структурних схем перетворювачів СКЗН у класі елементарних функцій. Проте до цього числа не входять усі перетворювачі, що працюють за принципом розкладання різних за суттю функцій у степеневий ряд.

Відомий спосіб вимірювання СКЗН, у [1] названий способом багатократного вимірювання, коли з модуля змінного сигналу n разів послідовно виділяють змінну та постійну складові i , при цьому, кожну з отриманих $n+1$ постійних складових підносять до квадрату, складають, а з суми квадратів добувають квадратний корінь. Цей результат характеризує величину середньоквадратичного значення сигналу U :

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^n U_{ni}^2}$$

де U — середньоквадратичне значення вимірюваної напруги U_x ; U_{ni} — значення постійної складової після i -го розділення.

При $n \rightarrow \infty$ зазначений спосіб забезпечує досить високу точність вимірювання. Проте для нього характерним є недостатня швидкодія, розширення частотного спектру вимірюваного сигналу, складність схемної реалізації та недостатнє забезпечення лінійності перетворення. У сукупності такі недоліки призводять до появи значної похибки через різні форми знакозмінного сигналу.

Наведені недоліки частково усуваються в [1], це реалізує такий алгоритм:

$$U = \sqrt{U_1^2 + \sum_{i=1}^n U_i^2} \approx U_1 + \frac{1}{2U_1} \sum_{i=2}^n U_i^2 \quad (1)$$

де U_1 — середньоквадратичне значення першої гармоніки вимірюваного сигналу; $\sum_{i=2}^n U_i^2$ — сума квадратів середньоквадратичних значень вищих гармонік вимірюваного сигналу, починаючи з другої.

Реалізація алгоритму (1) передбачає виконання таких операцій: виділення першої гармоніки U_1 , перетворення її у пропорційну їй постійну напругу, виділення з U_x гармонік з номерами вищими за першу, їх квадратичне детектування з наступним масштабним перетворенням оброблених сигналів та їх підсиленням. Наближена рівність (1) виконується, коли $U_1^2 \gg \sum_{i=1}^n U_i^2$. При послабленні цієї нерівності проявляється методична похибка через

різницю у формі вимірюваних сигналів. Крім того, зростає похибка перетворення за рахунок неповного придушення фільтром основної гармоніки, а при зміні частоти вимірюваного сигналу необхідно попередньо оцінити значення першої гармоніки, забезпечивши відповідне перестроювання, і ускладнюється технічна реалізація вимірювального перетворювача.

Постановка завдання

На основі проведеного аналізу способів вимірювання СКЗН розробити такий алгоритм перетворення вимірюваної напруги, який усунув би основні недоліки існуючих способів вимірювання СКЗН, та запропонувати структурну схему пристрою, що реалізує цей алгоритм.

Основні матеріали статті

Загальновідомо, коли сигнал описується знакозмінною функцією часу $U_x(t)$, то модуль цієї функції, усереднений за цей час T , дорівнює його постійній складовій U_0 :

$$U_0 = \overline{|U_x(t)|}$$

Різниця між модулем функції і її середнім значенням є змінною величиною (змінною складовою) U_{\sim} :

$$U_{\sim} = |U_x(t)| - U_0$$

Очевидно, що квадрат середньоквадратичного значення сигналу $U_x(t)$ можна виразити через суму квадратів постійної і змінної складових:

$$U^2 = U_0^2 + U_{\sim}^2$$

або

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_{\sim}^2} = U_0 \sqrt{1 + \frac{U_{\sim}^2}{U_0^2}} \quad (2)$$

Представивши (2) біноміальним рядом Ньютона й обмежившись двома першими членами розкладання, отримаємо:

$$U \approx U_0 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{U_{\sim}^2}{U_0^2} \right) = U_0 + \frac{1}{2} \frac{U_{\sim}^2}{U_0} \quad (3)$$

Нагадаємо, що таке математичне перетворення є справедливим за умови: $U_{\sim}^2 \ll U_0^2$, а при послабленні цієї нерівності зростатиме методична похибка вимірювання.

Структурна схема пристрою реалізації запропонованого алгоритму (3) показана на рис. 1.

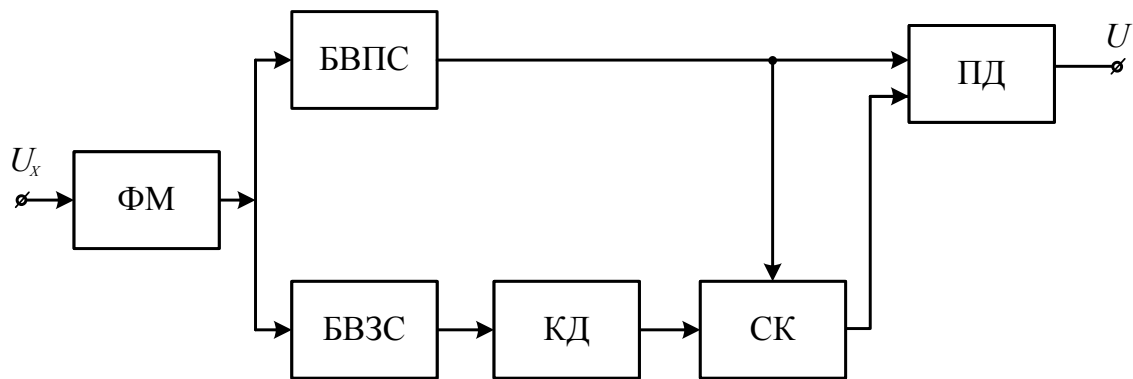


Рис. 1. Структурна схема пристрою реалізації запропонованого алгоритму

Принцип дії пристрою (рис. 1) пояснюється так: за допомогою формувача модуля (ФМ) напруга змінного струму довільної форми U_x приводиться до вигляду $|U_x(t)|$. Блоками виділення постійної (БВПС) та змінної (БВЗС) складових вона перетворюється відповідно як: $|U_x(t)| = U_0$ та $|U_x(t)| - \overline{|U_x(t)|} = U_{\sim}$. Змінна складова U_{\sim} детектується за допомогою квадратичного детектора (КД) і через схему корекції (СК), що забезпечує ділення змінної складової U_{\sim} на постійну U_0 складову з коефіцієнтом передачі, який дорівнює $1/2$, подається на пристрій додавання (ПД). Сюди ж надходить сигнал постійної складової. Таким чином на виході ПД отримуємо середньоквадратичне значення U вхідної напруги змінного струму довільної форми за алгоритмом (3).

Аналіз отриманих результатів

Як випливає з принципу дії пристрою, обробка сигналу виконується над двома продуктами модуля змінної напруги — постійною та змінною складовими, що значно знижує вимоги до форми АЧХ фільтрів, її стабільності, точності, настроювання фільтрів і, як результат цього — підвищення точності та швидкодії перетворення. При цьому, через відсутність складних діапазонних фільтрів з органами перестроювання та необхідними пристроями допоміжної індикації частоти і смуги пропускання, через відсутність вимірювальних перетворювачів напруги першої гармоніки, значно спрощується технічна реалізація пристрою. У сукупності все це дозволяє використовувати алгоритм (3) у цифрових вимірювальних приладах у реальному масштабі часу.

Похибка ж за рахунок використання тільки лінійних членів ряду розкладання (3), як показують розрахунки, складає для синусоїдального сигналу $1,27\%$.

Висновки

Запропонований алгоритм вимірювального перетворення вхідного сигналу забезпечує виконання основних вимог, характерних для оцінювання СКЗН: швидкодії, широкосмуговості та відносно простої схеми реалізації вимірюваного пристрою — при забезпеченні прийнятної на сьогодні похибки вимірювання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Волгин Л.И. Измерительные преобразователи переменного напряжения в постоянное. — М.: Советское радио, 1977. — 240 с.
2. Попов В.С., Желбанов И.Н. Измерение средноквадратичного значения напряжения. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 120 с.

Крушевський Юрій Володимирович — кандидат технічних наук, доцент кафедри радіотехніки.

Костюк Олександр Андрійович — старший викладач кафедри проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури.

Войтенко Анна Іванівна — студентка 4 курсу.
Вінницький національний технічний університет.