

УДК 621.317.32

**Ю. В. Крушевский, к. т. н., доц.; О. А. Костюк; А. И. Войтенко****К ВОПРОСУ ИЗМЕРЕНИЯ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ**

*В статье разработан алгоритм измерительного преобразования напряжения сигнала при оценивании его среднеквадратического значения (СКЗН) и предложена структурная электрическая схема прибора реализации этого алгоритма.*

**Ключевые слова:** *среднеквадратическое значение напряжения, постоянная и переменная составляющие, гармоники.*

**Введение**

Измерительная операция преобразования измеряемого переменного электрического сигнала в постоянное напряжение является одной из наиболее распространенных в технике электро- и радиоизмерений. При этом особое внимание уделяется оцениванию сигналов произвольной формы по уровню среднеквадратического значения их напряжений, поскольку среднеквадратичное значение – фундаментальная физическая характеристика процесса [1].

**Анализ последних исследований и публикаций**

При измерении СКЗН используют преобразователи как с линейной, так и с нелинейной функциями преобразований [1]. Преимущества и недостатки последних подробно рассмотрены в [1].

В [2] значительное внимание уделяется рассмотрению особенностей и реализации 19 базовых структурных схем преобразователей СКЗН в классе элементарных функций. Тем не менее, в это число не входят все преобразователи, которые работают по принципу разложения разных за сущностью функций в степенной ряд.

Известный способ измерения СКЗН в [1] назван способом многократного измерения: когда из модуля переменного сигнала  $n$  раз последовательно выделяют переменную и постоянную составляющие и, при этом, каждую из полученных  $n+1$  постоянных составляющих возводят в квадрат, складывают, а из суммы квадратов извлекают квадратный корень. Этот результат характеризует величину среднеквадратического значения сигнала  $U$ :

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

где  $U$  — среднеквадратическое значение измеряемого напряжения  $U_x$ ;  $U_{ni}$  — значение постоянной составляющей после  $i$ -го деления.

При  $n \rightarrow \infty$  указанный способ обеспечивает довольно высокую точность измерения. Тем не менее, для него характерны недостаточное быстродействие, расширение частотного спектра измеряемого сигнала, сложность схемной реализации и недостаточное обеспечение линейности преобразования. В совокупности такие недостатки приводят к появлению значительной погрешности из-за разных форм знакопеременного сигнала.

Указанные недостатки частично устраняются в [1], что реализует такой алгоритм:

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

где  $U_1$  — среднеквадратическое значение первой гармоники измеряемого сигнала;  $\sum_{i=2}^n U_i^2$  — сумма квадратов среднеквадратических значений высших гармоник измеряемого сигнала, начиная со второй.

Реализация алгоритма (1) предусматривает выполнение таких операций: выделение первой гармоники  $U_1$ , преобразование ее в пропорциональное ей постоянное напряжение, выделение из  $U_x$  гармоник с номерами более высокими, чем у первой, их квадратическое детектирование с последующим масштабным преобразованием обработанных сигналов и их усилением. Приближенное равенство (1) выполняется, когда  $U_1^2 \gg \sum_{i=1}^n U_i^2$ . При ослаблении

этого неравенства проявляется методическая погрешность из-за разницы в форме измеряемых сигналов. Кроме того, возрастает погрешность преобразования за счет неполного подавления фильтром основной гармоники, а при изменении частоты измеряемого сигнала необходимо предварительно оценить значение первой гармоники, обеспечив соответствующее перестраивание, и усложняется техническая реализация измерительного преобразователя.

### Постановка задачи

На основе проведенного анализа способов измерения СКЗН разработать такой алгоритм преобразования измеренного напряжения, который устранил бы основные недостатки существующих способов измерения СКЗН, и предложить структурную схему устройства, реализующего этот алгоритм.

### Основные материалы статьи

Общеизвестно, когда сигнал описывается знакопеременной функцией времени  $U_x(t)$ , то модуль этой функции, усредненный за время  $T$ , равен его постоянной составляющей  $U_0$ :

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

Разница между модулем функции и ее средним значением является переменной величиной (переменной составляющей)  $U_{\sim}$ :

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

Очевидно, что квадрат среднеквадратического значения сигнала  $U_x(t)$  можно выразить через сумму квадратов постоянной и переменной составляющих:

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

или

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

Представив (2) биномиальным рядом Ньютона и ограничившись двумя первыми членами разложения, получим:

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

Напомним, что такое математическое преобразование является справедливым при условии:  $U_{\sim}^2 \ll U_0^2$ , а при ослаблении этого неравенства будет возрастать методическая погрешность измерения.

Структурная схема устройства реализации предложенного алгоритма (3) показана на рис. 1.

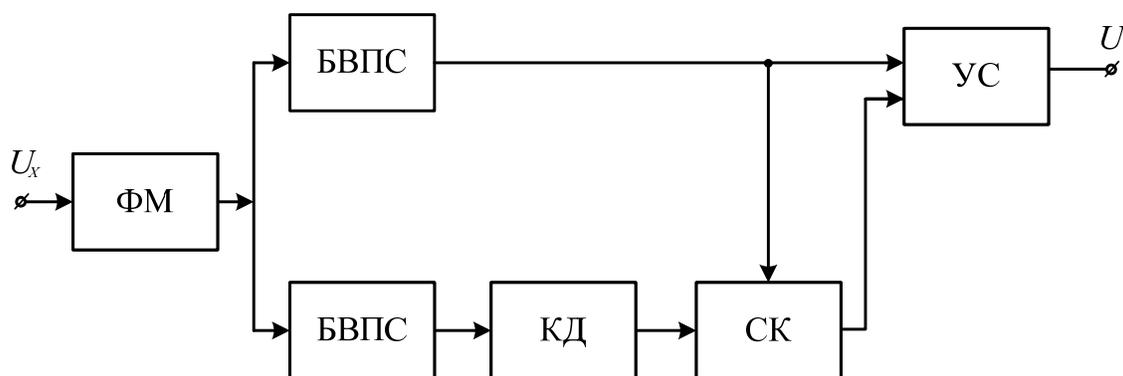


Рис. 1. Структурная схема устройства реализации предложенного алгоритма

Принцип действия устройства (рис. 1) объясняется так: с помощью формирователя модуля (ФМ) напряжение переменного тока произвольной формы  $U_x$  приводится к виду  $|U_x(t)|$ . Блоками выделения постоянной (БВПС) и переменной (БВПС) составляющих она превращается соответственно как:  $|U_x(t)| = U_0$  и  $|U_x(t)| - \overline{|U_x(t)|} = U_{\sim}$ . Переменная составляющая  $U_{\sim}$  детектируется с помощью квадратичного детектора (КД) и через схему коррекции (СК), которая обеспечивает деление переменной составляющей  $U_{\sim}$  на постоянную составляющую с коэффициентом передачи равным  $1/2$ , подается на устройство суммирования (УС). Сюда же поступает сигнал постоянной составляющей. Таким образом на выходе УС получаем среднеквадратическое значение  $U$  входного напряжения переменного тока произвольной формы по алгоритму (3).

### Анализ полученных результатов

Как следует из принципа действия устройства, обработка сигнала выполняется над двумя продуктами модуля переменного напряжения — постоянной и переменной составляющими, что значительно снижает требования к форме АЧХ фильтров, ее стабильности, точности, настройки фильтров и, как результат этого — повышение точности и быстродействия преобразования. При этом, из-за отсутствия сложных диапазонных фильтров с органами перестраивания и необходимыми устройствами вспомогательной индикации частоты и полосы пропускания, из-за отсутствия измерительных преобразователей напряжения первой гармоники, значительно упрощается техническая реализация устройства. В совокупности все это позволяет использовать алгоритм (3) в цифровых измерительных приборах в реальном масштабе времени.

Погрешность же за счет использования только линейных членов ряда разложения (3), как показывают расчеты, составляет для синусоидального сигнала 1,27%.

### Выводы

Предложенный алгоритм измерительного преобразования входного сигнала обеспечивает выполнение основных требований, характерных для оценивания СКЗН: быстродействия, широкополосности и относительно простой схемы реализации измерительного устройства — при обеспечении приемлемой на сегодня погрешности измерения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

**Крушевский Юрий Владимирович** — кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники.

**Костюк Александр Андреевич** — старший преподаватель кафедры проектирования компьютерной и телекоммуникационной аппаратуры.

**Войтенко Анна Ивановна** — студентка 4 курса.  
Винницкий национальный технический университет.