

# Схемотехника фазовых анализаторов с ортогональным преобразованием сигналов

Л. Р. Григорьян

Кубанский государственный  
университет

leonmezon@mail.ru

Н. М. Богатов

Кубанский государственный  
университет

bogatov@phys.kubsu.ru

Н. С. Солодовников

Кубанский государственный  
университет

solodovnikovnikita@rambler.ru

Ф. С. Солодовников

Кубанский государственный  
университет

solodovnikovfedor90@gmail.com

**Аннотация.** В работе рассмотрены вопросы построения анализаторов фазы сигнала. В основу работы анализаторов положен способ ортогонального преобразования исследуемых сигналов с применением вмененных управляемых коммутаторов, позволяющих исключить аддитивную погрешность измерительного тракта анализатора фазы.

**Ключевые слова:** анализатор; фазовые методы; такт; ортогональное преобразование; коммутатор

## I. ВВЕДЕНИЕ

Схемотехника фазовых анализаторов базируется на двух способах анализа фазы сигнала [1]:

- ключевых, с преобразованием формы сигнала;
- ортогональных, с использованием исходной информации сигнала.

Следовательно, в ортогональных преобразователях отсутствует процедура вмешательства в структуру сигналов, что в целом определяет предельную тонкость измерения фазовых параметров данными анализаторами.

Цель работы: анализ схемотехники фазовых анализаторов с ортогональным преобразованием сигналов.

## II. СХЕМОТЕХНИКА ФАЗОИЗМЕРИТЕЛЕЙ

В практике ортогональных фазовых анализаторов различают преобразователи с двухканальным и одноканальным способом преобразования сигналов [2]. Рассмотрим последовательно обозначенные структуры.

На рис. 1 представлена структурная схема двухканального измерительного комплекса, реализующая ортогональный принцип измерения фазовых параметров сигналов, предложенный в работе [3]. Состав измерительного комплекса указан на рис. 1.

Принцип измерения комплекса состоит из двух тактов. В соответствии с алгоритмом оптимальной

оценки параметров сигнала в первом такте анализируются входные, а во втором такте выходные сигналы исследуемого четырехполосника [3]:

$$\bar{\varphi}_{\text{вх}} = \arctg \frac{\int_0^{t_k} U_{\text{вх}}(t) \sin \omega t dt}{\int_0^{t_k} U_{\text{вх}}(t) \cos \omega t dt}$$

$$\bar{\varphi}_{\text{вых}} = \arctg \frac{\int_{t_k}^{2t_k} U_{\text{вых}}(t) \sin \omega t dt}{\int_{t_k}^{2t_k} U_{\text{вых}}(t) \cos \omega t dt}$$

где  $t_k$  – длительность такта.

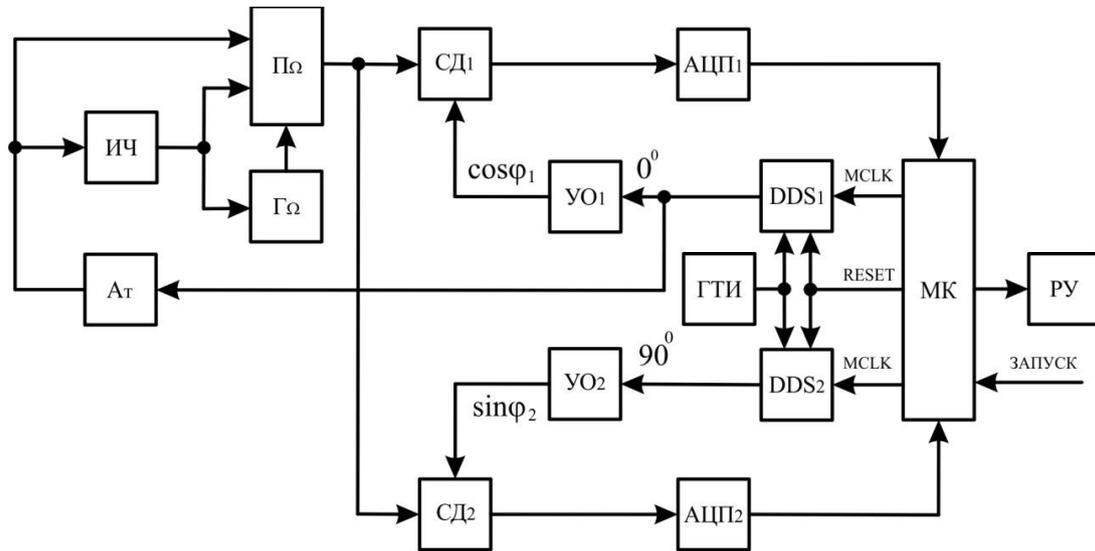
После обработки результатов обоих тактов определим фазовый сдвиг исследуемого четырехполосника

$$\varphi_{\text{ич}} = \bar{\varphi}_{\text{вых}} - \bar{\varphi}_{\text{вх}}.$$

Отметим, что в окончательном результате отсутствует методическая погрешность измерения фазы сигнала.

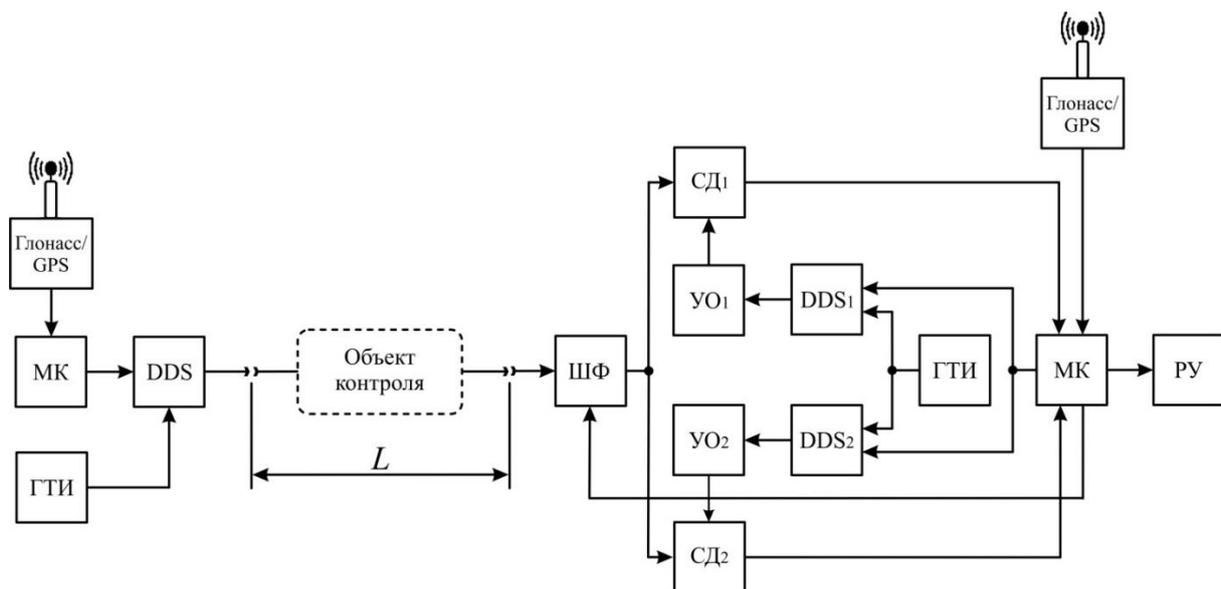
Отметим также, что рассмотренный пример ортогонального фазового анализатора сравнительно просто реализуется, если источник сигнала объекта контроля и оптимальный приемник сосредоточены в одном месте [4].

В тоже время в ряде случаев такая возможность отсутствует. Например, при анализе каналов связи с применением в качестве контролируемых параметров группового времени запаздывания. Для решения этой задачи в работе [5] предложена схема фазового анализатора (рис. 2), в котором проблемы синхронизации разнесенных в пространстве объектов решены с использованием приемников Глонасс/GPS, синхронизирующим сигналом которых в этом случае являются тактовые импульсы с частотой 1 Гц.



ИЧ – исследуемый четырехполюсник;  $\Pi_{\Omega}$  – синхронизируемый коммутатор;  $\Gamma_{\Omega}$  – генератор коммутационных импульсов; Ат – выходной аттенуатор; СД<sub>1</sub>, СД<sub>2</sub> – первый, второй синхронные детекторы; УО<sub>1</sub>, УО<sub>2</sub> – первый, второй усилители ограничители; DDS<sub>1</sub>, DDS<sub>2</sub> – первый, второй DDS генераторы; АЦП<sub>1</sub>, АЦП<sub>2</sub> – первый, второй аналого-цифровые преобразователи; ГТИ – генератор тактовых импульсов; МК – микроконтроллер, РУ – регистрирующее устройство

Рис. 1. Структурная схема измерительного комплекса для измерения фазовых параметров четырехполюсников



Глонасс/GPS – приемник глобальной системы позиционирования с антенной; ШФ – широкополосный фазовращатель; СД<sub>1</sub>, СД<sub>2</sub> – первый, второй синхронные детекторы; УО<sub>1</sub>, УО<sub>2</sub> – первый, второй усилители ограничители; DDS<sub>1</sub>, DDS<sub>2</sub> – первый, второй DDS генераторы; АЦП<sub>1</sub>, АЦП<sub>2</sub> – первый, второй аналого-цифровые преобразователи; ГТИ – генератор тактовых импульсов; МК – микроконтроллер; РУ – регистрирующее устройство

Рис. 2. Структурная схема ортогонального преобразователя фазовых флуктуаций распределенных в пространстве объектов контроля

Рассмотрим далее предложенную в работе [6] одноканальную схему ортогонального преобразователя сигналов. Процесс измерения в данном устройстве (рис. 3), осуществляется в следующей последовательности:

- масштабирование и фильтрация входного сигнала;
- временная дискретизация и аналого-цифровое преобразованием отсчетов, количество которых

должно быть кратно 4 и не превышать 360 отсчетов за период сигнала.

Цифровые значения отсчетов суммируются далее с 1 по 360 отсчетов в сумматоре 4 и с 91 по 450 отсчетов в сумматоре 5. Далее над значениями сумм выборок осуществляют следующие математические операции:

- вычисление среднеарифметического значения;
- возведение в квадрат полученных среднеарифметических значений;

- суммирование полученных сумм с последующим извлечением квадратного корня.

Результатом проведенных вычислительных операций является квадрат среднеарифметического значения умножителя 8

$$U_0^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^{360} ((N_i - N_0))}{360} \right)^2,$$

и соответственно квадрат среднеарифметического значения умножителя 9

$$U_{90}^2 = \left( \frac{\sum_{i=91}^{450} ((N_i - N_0))}{360} \right)^2.$$

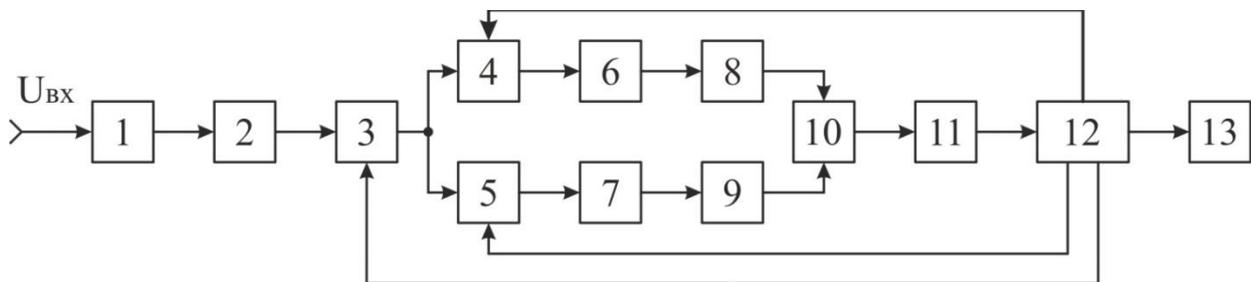
В приведенных формулах  $N_i$  – текущее значение напряжения сигнала,  $N_0$  – постоянная составляющая,  $U_0$  и  $U_{90}$  – среднеарифметические значения напряжения с 0 и 90° сдвигом фазы.

Таким образом, на выходе вычислительного блока 11 результат измерения соответствует амплитуде исследуемого сигнала.

$$U_{изм} = \sqrt{U_0^2 + U_{90}^2}.$$

Это означает, что предложенный алгоритм математической обработки сигналов одноканальным анализатором равноценен двухканальному анализатору с синхронным детектированием сигналов [7].

Рассмотренные структурные схемы анализаторов в целом обозначили направление развития фазовых анализаторов с ортогональным преобразованием сигналов. Представляется целесообразным затронуть также схемотехнику данных устройств.



1 – масштабирующий усилитель; 2 – фильтр, 3 – аналого-цифровой преобразователь; 4, 5 – сумматоры; 6, 7 – вычислительные блоки; 8, 9 – умножители; 10 – третий сумматор; 11 – блок вычисления среднеарифметического значения; 12 – цифровое управляющее устройство; 13 – регистрирующее устройство

Рис. 3. Одноканальная структурная схема ортогонального преобразования сигналов

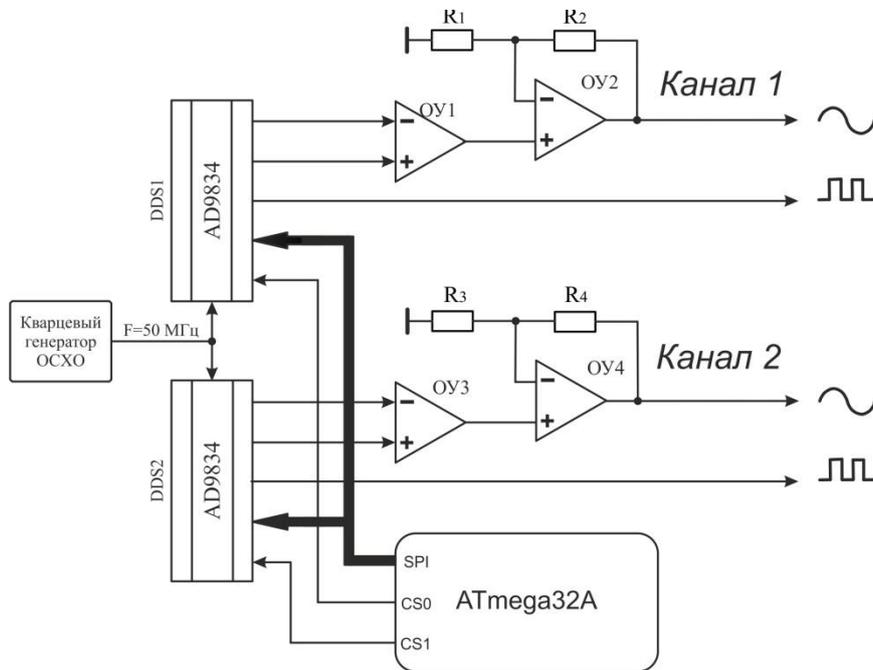


Рис. 4. Функциональная схема двухканального генератора

Не касаясь всего комплекса проблем этого направления, рассмотрим только схемотехнику программируемого источника сигналов. На рис. 4

представлена функциональная схема двухканального генератора, реализованного на базе двух DDS генераторов AD9834, подключенных к общему для

обоих генераторов высокостабильному кварцевому источнику прямоугольных сигналов ОСХО. Общая синхронизация генераторов осуществляется от микроконтроллера ATmega32A. На выходах генераторов используется симметричная и идентичная схемотехника выходных каскадов генераторов, построенных на операционных усилителях AD8032 и AD8031.

Экспериментальная проверка данного источника калиброванных фазовых сдвигов подтвердила его технические параметры, обеспечивающие в диапазоне до 1МГц точность воспроизведения фазовых сдвигов  $0,1 \div 0,5^\circ$ .

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ схемотехники фазовых анализаторов позволяет сформулировать несколько базовых выводов:

- в двухканальном анализаторе наиболее значимым результатом является решение проблемы исключения амплитудно-фазовой погрешности измерительного комплекса, так как влияние фазового сдвига входного аттенюатора в двухтактном режиме полностью исключается;
- в одноканальном анализаторе использование процедуры временной дискретизации и

цифрового преобразования сигналов равноценно двухканальному алгоритму преобразования сигналов, реализующих ортогональный способ измерения фазовых параметров сигналов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Важность фазы при обработке сигналов / А.В. Оппенгейм, Дж.С. Лим // ТНИЭР (пер. с англ.) Т69. №5, 1981. С. 39-54.
- [2] Глинченко А.С. Цифровые методы измерения сдвига фаз / А.С. Глинченко, С.С. Кузнецкий, А.М. Финштейн, М.К. Чмых. Новосибирск: Наука, 1979. 288 с.
- [3] Григорьян Л.Р. Аппаратурная реализация фазовых анализаторов с ортогональным преобразованием сигналов / Л.Р. Григорьян, Н.М. Богатов, Р.Л. Григорьян // Проектирование и технология электронных средств №4, 2022. С. 21-28. ISSN 20719809
- [4] Фалькович С.Е. Оценка параметров сигнала. М.: Советское радио, 1970. 336 с.
- [5] Григорьян Л.Р. Новые схемотехнические решения в практике коммутационных фазовых измерений. / Л.Р. Григорьян, Н.М. Богатов, Р.Л. Григорьян // Перспективные технологии в средствах передачи информации: Материалы 14-ой международной научно-технической конференции, г. Владимир 6-7 октября 2021. Владимир: ВлГУ, 2021. С. 307-310.
- [6] Патент РФ № 2482517, МПК G01R31/11. / Л.Р. Григорьян, Н.М. Богатов, О.Е. Митина, М.А. Сахно. Трасопоисковый приемник заявитель. Дата публикации: 20.05.2013.
- [7] Пестряков В.Б. Фазовые радиотехнические системы (основы статистической теории). М.: Советское радио, 1968. 468 с.