

УДК 621.317.39

С.Н. Поливкин, ассистент*Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: madgrey@mail.ru***НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ФАЗОМЕТР НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА И ПЛИС**

Рассмотрен метод проектирования высокоточных низкочастотных фазометров. Предложена структурная схема фазометра, обеспечивающая возможность измерения разности фаз низкочастотных сигналов с погрешностью, не превышающей 0,1° на частоте 1 кГц. Приведены технические характеристики и фотографии разработанного фазометра.

Ключевые слова: разность фаз, фазометр, ПЛИС, микроконтроллер.

Измерение разности фаз является важной технической задачей при проектировании систем неразрушающего контроля, поскольку фазовые методы контроля свойств материалов являются одними из наиболее чувствительных [1].

При создании гомодинных измерительных систем неразрушающего контроля [1], одним из основных блоков, обеспечивающих получение первичной измерительной информации, является низкочастотный фазометр. Он должен измерять разность фаз входных сигналов, частота которых не превышает единиц килогерц с погрешностью, не превышающей десятых долей градуса. Высокие требования к точности измерения разности фаз связаны с тем, что погрешность фазометра является одним из основных компонентов общей погрешности измерителей на основе гомодинного преобразования частоты [2]. Помимо этого, фазометр, входящий в состав измерительной системы должен обеспечивать возможность дистанционного управления и передачи результатов измерений по одному из стандартных для вычислительных систем интерфейсов.

Для его реализации был выбран метод измерения разности фаз путем ее преобразования во временной интервал [3]. При использовании этого метода погрешность измерения разности фаз определяется следующими факторами: долговременной нестабильностью опорного кварцевого генератора, дискретностью измерений, а также влиянием шумов и дрейфом уровня формирователя. Следует также отметить, что измерение самой разности фаз происходит косвенным образом.

Относительная систематическая погрешность измерения разности фаз определяется как

$$\frac{\theta_{\varphi}}{\varphi} = \frac{\theta_{T_x}}{T_x} - \frac{\theta_T}{T}, \quad (1)$$

где θ_{T_x} и θ_T — абсолютные систематические погрешности измерения периода T сигнала и интервала T_x , пропорционального измеряемой разности фаз.

Поскольку относительные систематические погрешности измерения периода сигнала и интервала, пропорционального разности фаз, одинаковы и численно равны относительной долговременной нестабильности частоты опорного генератора, они компенсируются, поэтому $\theta_{\varphi} = 0$. Следовательно, изменение частоты опорного генератора не приведет к возникновению погрешности измерения разности фаз.

Основной вклад в погрешность измерения разности фаз методом преобразования во временной интервал вносит погрешность дискретизации. Из [3] относительное СКО погрешностей измерения T и T_x можно определить с помощью выражения

$$\sigma_{\varphi} = \frac{T_0}{T\sqrt{6}} \sqrt{360^2 + \varphi^2}, \quad (2)$$

где T_0 — период счетных импульсов.

На рисунке 1 показана укрупненная структурная схема разработанного фазометра. Входные сигналы подаются через фильтры нижних частот 1 и 2, на входы формирователей 3 и 4 соответственно, выполненные на быстродействующем сдвоенном компараторе AD8564. С выходов формирователей сигналы поступают на вход блока измерения временных интервалов 5. Он реализован на микросхеме ПЛИС серии MAX7000S фирмы Altera.

Блок измерения временных интервалов, по командам от блока управления и сопряжения 7 осуществляет измерение частот сигналов на опорном и измерительном входах, а также длительности временного интервала, соответствующего разности фаз входных сигналов. Источник счетных импульсов 6 — кварцевый генератор JCO14 с частотой 100 МГц и долговременной нестабильностью частоты не хуже $5 \cdot 10^{-5}$ Гц.

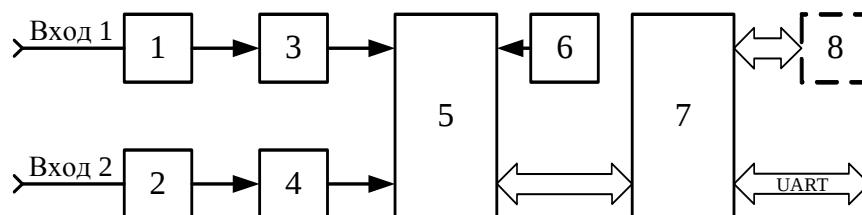


Рисунок 1 — Структурная схема фазометра

Блок управления и сопряжения 7 на основе микроконтроллера *ATmega16* обеспечивает управление работой прибора, производит расчет текущего значения разности фаз входных сигналов, а также обеспечивает передачу результатов измерений ведущему устройству с помощью интерфейса *UART* либо на опционно подключаемый внешний дисплей 8. На рисунке 2 изображена структурная схема блока измерения временных интервалов 5.

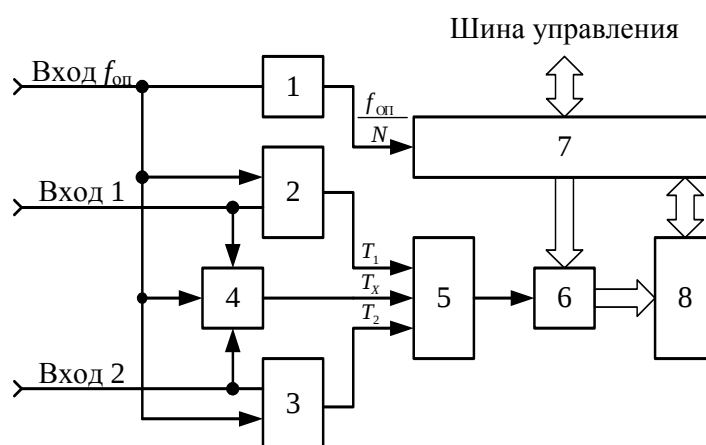


Рисунок 2 — Структурная схема блока измерения временных интервалов:

1 — делитель частоты; 2,3,4 — формирователи пачек счетных импульсов; 5 — мультиплексор;
6 — 24-х разрядный счетчик; 7 — управляющая логика блока; 8 — 24-х разрядный регистр сдвига

Процесс измерения разности фаз выполняется в два этапа. На первом этапе по команде от управляющего микроконтроллера мультиплексор 5 (см. рисунок 2) поочередно подключает формирователи 2 и 3 к счетчику 6, который измеряет число импульсов тактового генератора за интервал времени, равный периоду сигналов на первом T_1 и втором T_2 входах 1 и 2 блока измерения временных интервалов:

$$n_1 = \frac{T_1}{T_{\text{оп}}}; \quad n_2 = \frac{T_2}{T_{\text{оп}}}; \quad (3)$$

где n_1 и n_2 — число импульсов тактового генератора, приходящееся на один период измерительных сигналов.

Измеренные значения n_1 и n_2 считываются управляющим микроконтроллером. После проверки нахождения этих значений в допустимой области значений начинается второй этап измерений. Управляющий микроконтроллер с помощью мультиплексора 5 (см. рисунок 2) подключает формирователь 4 к входу счетчика 6. Число импульсов тактового генератора, измеренное счетчиком 6,

$$m = \frac{T_X}{T_0} \quad (4)$$

пропорционально разности фаз входных сигналов. Полученное значение m считывается управляющим микроконтроллером. После проверки значения m на нахождение в допустимом диапазоне значений микроконтроллер вычисляет текущее значение фазового сдвига

$$\varphi = 2\pi \frac{T_X}{T_1} \approx 2\pi \frac{m}{n}. \quad (5)$$

В таблице 1 приведены технические характеристики разработанного фазометра, а на рисунках 3, 4 показаны печатная плата и его внешний вид.

Таблица 1 — Основные технические характеристики фазометра

Наименование параметра	Значение
Измеряемая разность фаз входных сигналов, градус	0...360
Погрешность измерения разности фаз на частоте 1 кГц, градус	не более 0,05
Разрешающая способность определения разности фаз сигналов на частоте 1 кГц, градус	не менее 0,01
Диапазон частот входных сигналов, кГц	0,1...100
Габаритные размеры, мм	170x100x25
Масса, кг	0,4
Напряжение питания, В	9...18
Потребляемый ток, А	не более 0,2

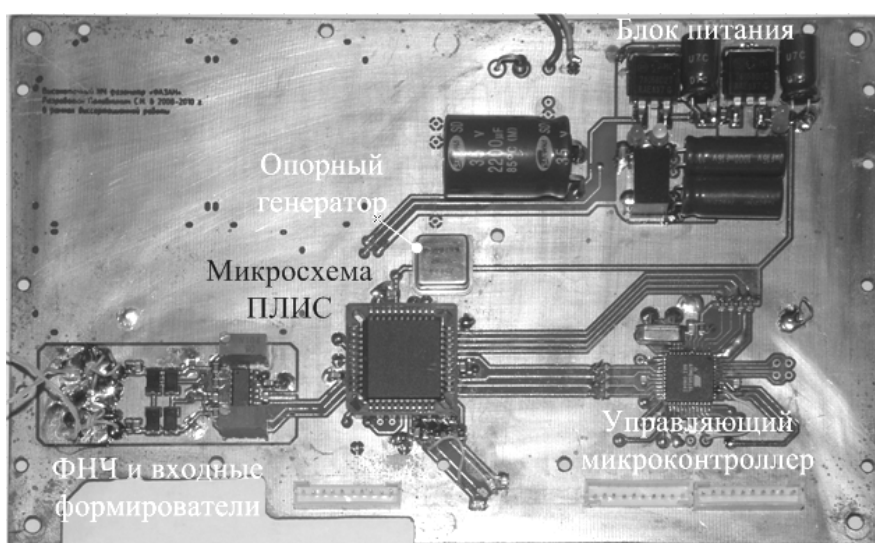


Рисунок 3 — Плата фазометра



Рисунок 4 — Внешний вид фазометра

Разработанный фазометр позволил реализовать режим автоматического измерения частоты и разности фаз выходного сигнала гомодинного преобразователя [2].

Библіографічний список використаної літератури

1. Широков И.Б. Принципы реализации и область применения гомодинных методов измерений / И.Б. Широков, Д.В. Синицын, О.В. Шабалина // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо'2004): матер. 14-ой междунар. Крымской конф., Севастополь, 13-17 сент. 2004 г. — Севастополь: Вебер, 2004. — С. 635–637.
2. Гимпелевич Ю.Б. Радиоволновые гомодинные измерительные преобразователи в системах контроля параметров технологических процессов / Ю.Б. Гимпелевич, И.Б. Широков, С.Н. Поливкин // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ-2011»: матер. 7-й Междунар. молодежной НТК, Севастополь, 11-15 апреля, 2011 г. — Севастополь, 2011 — С. 35.
3. Дворяшин Б. В. Основы метрологии и радиоизмерения / Б. В. Дворяшин. — М.: Радио и связь, 1993. — 317 с.

Поступила в редакцию 30.04.2012 г.

Полівкін С.М. Низькочастотний фазометр на основі мікроконтролера та ПЛІС

Розглянуто метод проектування високоточних низькочастотних фазометрів. Запропонована структурна схема фазометра, яка забезпечує можливість визначення фази з похибкою, яка не перевищує $0,1^\circ$ на частоті 1 кГц. Наведені технічні характеристики та зображення розробленого фазометра.

Ключові слова: фаза, фазометр, ПЛІС, мікроконтролер, гомодинний метод.

Polivkin S.N. Low frequency phasemeter based on microcontroller and PLM

Some methods of design precision low frequency phasemeters are described. The results of creation that device are shown.

Keywords: phase control, phase meter, PLU, PLD, microcontroller, homodyne.