

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ГИРОСКОПИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В работе проанализированы основные недостатки датчиков угловых перемещений подвижной части в существующих конструкциях гироскопических приборов. Показано, что применение потенциометрических и индукционных датчиков углов в существующих конструкциях гироскопических приборов приводит к снижению точности преобразования углового перемещения в электрический сигнал. Проанализированы основные технические характеристики датчиков угловых перемещений, выпускаемых ведущими приборостроительными компаниями мира. Показано, что эти датчики имеют ряд недостатков. Поэтому необходимо вести поиск новых решений. Предлагается в качестве одного из таких решений применять в гироскопических приборах бесконтактные лазерные частотно - фазовые измерители угловых перемещений. Приведен анализ такой измерительной системы.

Ключові слова: лазерні частотно-фазові системи, гіроскопічні системи, давачі кутових переміщень, технічні та метрологічні характеристики.

E.A. ZAITSEV

Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine

O.P. SINITSKIY

National Technical University of Ukraine "KPI"

STUDY THE POSSIBILITY OF USING LASER DEVICES FOR MEASURING MOVEMENT IN GYROSCOPE SYSTEM

This paper analyzes the main disadvantages of angle encoders moving part in existing designs gyroscopic instruments. It has been shown that the use of potentiometric and inductive angle sensors in existing designs gyroscopic devices leads to reduced accuracy in converting angular displacement into an electrical signal. Analyzes the main technical characteristics of angle encoders, produced by leading instrument companies in the world. It is shown that these sensors have several drawbacks. Therefore it is necessary to search for new solutions. Is offered as one of the solutions used in the gyroscopic instruments noncontact laser FMCW meters angular movements. The analysis of such a measurement system.

Keywords: laser FMCW system, gyroscopic systems, angular displacement sensors, technical and metrological characteristics.

Вступление

В настоящее время для измерения угловых и линейных перемещений выпускается большое разнообразие датчиков, основанных на различных принципах действия и использующих различные физические эффекты. Если рассмотреть гироскопические системы, то для получения измерительной информации о угловых перемещениях подвижной части прибора здесь наиболее часто применяются индукционные и потенциометрические (резистивные) датчики. Другие типы датчиков применяются реже. Однако, следует заметить, что постоянно появляются новые разработки, применение которых позволяет улучшить технические характеристики выпускаемых изделий. Так, в связи с прогрессом в изготовлении полупроводниковых лазеров, области использования лазерных систем бесконтактного измерения линейных перемещений, параметров вибраций, расстояний быстро расширяются. Установив на ось вращающегося объекта кулачок, или изогнутые, по форме винтовой линии, лепесток или шайбу, можно измерять лазерными системами угловые перемещения. Такие датчики линейных и угловых перемещений, а также информационно-измерительные системы (ИИС) основанные на использовании этих датчиков, по мере их совершенствования, становятся конкурентно способными по отношению к измерителям и датчикам основанных на других принципах действия, но уже получивших широкое распространение в гироскопических системах. Лидерами в производстве датчиков угловых перемещений являются компании: SICK AG, SIEMENS, HUBNER ELEKTROMASHINEN AG, OMRON, BAUMER, ELAP, Autonics и другие. Большую долю продукции этих фирм для определения угловых перемещений составляют оптические абсолютные или инкрементальные энкодеры [1, 2]. Этими и другими компаниями выпускаются также магнитные энкодеры, индуктивные, емкостные, магниторезистивные, индукционные, потенциометрические (резистивные) датчики угла поворота. Диапазон преобразуемых углов поворота большинства таких датчиков: $0...360^{\circ}$, $-180^{\circ}...+180^{\circ}$, $-90^{\circ}...+90^{\circ}$, однако, есть и многооборотные с диапазоном $0...n \times 360^{\circ}$, где n может достигать нескольких тысяч. Приведенная погрешность этих датчиков 0,01...2,5 %, но у большей части она лежит в пределах 0,1...1,0 %. Габариты: (30...100)x(20...60)x(20...40) мм. Масса 30...800 г. Стоимость 40...800 долларов США. Чем выше точность датчика, тем больше масса, габариты, стоимость.

Постановка задачи

Анализ перспектив применения бесконтактных лазерных частотно-фазовых ИИС измерения угловых перемещений в гироскопических системах наряду с традиционно применяемыми датчиками угловых перемещений.

Теоретические положения

Рассмотрим конструктивные особенности гироскопических приборов, которые широко применяются в системах управления на самолетах, кораблях, ракетах, космических объектах, в наземной технике военного и важного гражданского назначения и в целом ряде других случаев, например, в специальных снарядах для контроля состояния труб нефте- и газопроводов. В самолетах они позволяют визуально определять физические величины, которые интересуют летный состав, а также вводить эти данные в виде электрических сигналов или кодов в автоматические системы управления и навигации. Одним из важных элементов таких систем являются гироскопические вертикали. Они предназначены для определения углов отклонения осей самолетов от истинной вертикали места и служат датчиками углов крена и тангажа.

В ряде конструкций на измерительных осях гировертикали устанавливаются потенциометры или сельсины, с которых снимаются электрические сигналы, пропорциональные углам крена и тангажа, при этом оси рамок нагружаются моментами от этих датчиков. Это снижает точность измерения. Для компенсации влияния возникающих моментов в гировертикали приходится применять систему силовой стабилизации, обеспечивающую разгрузку измерительных осей. Таким образом, применение потенциометров или сельсинов в качестве датчиков углов поворота приводит к снижению точности измерения углов поворота и усложнению конструкции.

Рассмотрим возможность устранения этого недостатка использованием серийно выпускаемых датчиков угловых перемещений в гироскопических системах.

Основными характеристиками датчиков угла являются:

- точность;
- рабочий диапазон угла поворота;
- момент трогания и движения (если датчик контактный);
- габариты, масса стоимость;

Сразу следует отметить, что все серийно выпускаемые датчики угла поворота имеют достаточный, с запасом для гироскопов, диапазон угла поворота. Подавляющее большинство имеют диапазон $0...360^\circ$, $\pm 180^\circ$, $\pm 90^\circ$, $\pm 60^\circ$. Поэтому будем производить анализ по остальным характеристикам. Следует отметить еще одну особенность: все производители индуктивных датчиков RVDT (Rotary Variable Differential Transformer – угловой дифференциальный трансформатор с переменным коэффициентом передачи) и оптических угловых энкодеров, в рекламных, целях относят их к бесконтактным. Действительно, в оптических энкодерах информация с дисков не снимается с помощью механических пружинных контактов, а путем прерывания луча света. В датчиках RVDT ферромагнитный сердечник, при поворотах на измеряемый угол, не касается катушек трансформатора, а передвигается рядом с ними, изменяя, при этом, взаимоиндуктивность между катушками. Но, при анализе применения этих датчиков в гироскопических системах необходимо учитывать, что в собранном виде в этих датчиках ферромагнитный сердечник и оптический диск установлены на опорах (диск на шарикоподшипниках) и для начала их вращения необходимо преодолевать момент трогания.

Рассмотрим конкретные типы датчиков:

- Абсолютный оптический энкодер компании SIEMENS.

Высокая точность: приведенная погрешность $\pm 0,044^\circ$. Однако масса 500 г, момент трогания 3 Н·см, большие размеры, цена датчика типа MC ENCODER примерно 600 евро.

- Абсолютные оптические энкодеры серии MEM компании ELAP ALTHERIS.

Высокая точность – у лучших образцов приведенная погрешность $\pm 0,01^\circ$. Однако масса 400..500 г, момент трогания 0,8 Н·см, сравнительно большие размеры, без учета разъема электрического кабеля: 63x63 мм. Цена 340..405 евро.

- Магнитные абсолютные энкодеры серии ЕМА той же компании имеют ту же точность и размеры, но меньшую стоимость: 230..255 евро.

- Оптические абсолютные энкодеры серии ARS компании SICK имеют погрешность $\pm 0,04^\circ$, а начальный момент 0,4 Н·см, габариты: 90x72 мм, масса 300 г, стоимость 500..800 долларов США.

Если рассмотреть энкодеры меньшей точности, то они будут, естественно иметь меньшие габариты, массу и стоимость. Так, магнитные абсолютные энкодеры угловых перемещений компании ELAP ALTHERIS, при погрешности только от квантования равной 0,2% от полной шкалы, имеют диаметр 22 мм и стоимость 162 евро. Но эти простые энкодеры имеют еще один существенный недостаток – у них на выходе не предусмотрен код Грея, и имеются только двоичный код, что вызывает, в некоторых участках шкалы, при переходе одного кода к другому, в случае наличия вибраций, толчков, очень большие погрешности, которые могут составлять десятки процентов, а это недопустимо для гироскопических систем.

Анализ технических характеристик угловых энкодеров других компаний показывает, что они аналогичны выше приведенным. Из этого можно сделать вывод, что серийно выпускаемые энкодеры мало пригодны для гироскопических систем: при подходящей точности они имеют большие габариты, массу, стоимость. Но самое главное – все они вносят дополнительную погрешность из-за наличия момента трогания.

Потенциометрические датчики имеют хорошую точность (погрешность может быть не более 0,05..0,1 %) небольшой вес, габариты и стоимость. Поэтому они нашли широкое применение в

гироскопических системах. Но у них три источника, создающих момент трогания: трение между щеткой и проволокой реостата, между второй щеткой и токосъемным кольцом и трение в опоре приводного валика (крутящий момент 0,8 Н·см). Кроме того, они имеют ограниченный ресурс работы: 10..500 тысяч циклов, а это немного т. к. у бесконтактных датчиков (у которых нет проводящего покрытия с скользящим металлическим контактом) 10..50 миллионов циклов.

Емкостные датчики выпускают компании: Analog Devices, Capacitex, Trans-Tek, Texas Instruments. Лидером среди них является Trans-Tek. Датчики этой компании серии ADT имеют диапазоны преобразования: $\pm 30^\circ$, $\pm 60^\circ$, $\pm 90^\circ$, 360° ; погрешность 0,1...0,2 % от полной шкалы, вес 170...350 г, максимальный момент трогания 5 Н·см. Как видно из этих данных, при широком диапазоне преобразований и хорошей точности, они имеют большой вес и момент трогания.

Индуктивные датчики этой же компании имеют более узкий диапазон угловых перемещений, более низкую точность и меньшие габариты, а остальные параметры, как и у емкостных датчиков.

Таким образом, анализ технических характеристик серийно выпускаемых датчиков угловых перемещений показывает, что они по диапазону измерения и по точности удовлетворяют требованиям гироскопических систем, но имеют большие габариты, массу и высокую стоимость. Существенным недостатком является большой момент трогания и вращения.

Некоторые вопросы повышения точности измерения угловых перемещений в гироскопических системах

В подавляющем большинстве случаев в промышленности, энергетике и на транспорте измерение угловых перемещений производится в силовых агрегатах механическая мощность которых намного больше механической мощности потребляемой измерительными устройствами. Поэтому момент трогания датчиков угловых перемещений, равный 0,4..3 Н·см, практически не влияет на работу силовых агрегатов и на точность измерений. В гироскопических системах такие моменты трогания датчиков угловых перемещений, как было сказано выше, приводят к снижению точности измерений и для устранения влияния этого источника погрешностей приходится вводить системы силовой стабилизации.

Коренным образом изменить ситуацию можно, применив полностью бесконтактный съём информации. Первый вариант конструкции можно представить таким образом: подвижные диски оптического, магнитного, или емкостного энкодеров разместить на осях карданного подвеса, а статорные части энкодеров на корпусе и раме гироскопа. Но настраивать такие системы, где расстояния между статорными и подвижными частями у высокоточных энкодеров необходимо устанавливать с высочайшей точностью технологически очень сложно, а любой перекося или изменение установленных расстояний приведет к сбою в работе энкодера. Возникают проблемы с изменением размеров в этой сложной конструкции под влиянием температуры.

Избавиться от этих проблем можно в измерителях на основе лазерных ИИС. Как было указано в начале статьи, установив на ось вращающегося объекта кулачок или изогнутую по форме винтовой линии шайбу можно измерять лазерными системами угловые перемещения. Здесь не требуется точной установки неподвижной части относительно подвижной. Любое смещение или неточность установки вызывает аддитивную составляющую погрешности и, практически, почти без всяких аппаратных и временных затрат эта погрешность устраняется цифровой аддитивной коррекцией.

Лазерные ИИС основанные на использовании волоконно-оптических датчиков (ВОД) разрабатываются и исследуются в институте электродинамики НАН Украины [3-8]. Среди разрабатываемых лазерных ИИС можно выделить фазовые и частотно-фазовые (ЧФ) лазерные ИИС, которые предназначены для бесконтактного измерения линейных и угловых перемещений. Для решения задачи измерения угловых перемещений в гироскопических системах перспективным является применения бесконтактных ЧФ ИИС.

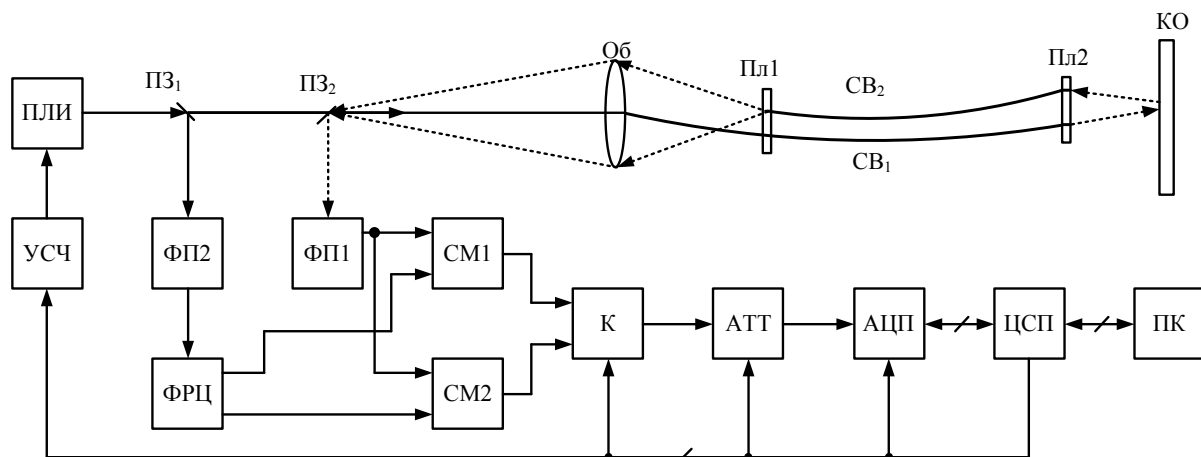


Рис. 1. Структурная схема частотно-фазовой измерительной системы

Обобщенная структурная схема лазерной ЧФ ИИС представлена на рис. 1. На схеме приняты

следующие условные обозначения: ПЛИ – полупроводниковый лазерный излучатель; УСЧ – управляемый синтезатор частоты; ФП1 и ФП2 – фотоприемники; ПЗ1 и ПЗ2 – полупрозрачные зеркала; ФРЦ – фазорасщепляющая цепочка; СМ1 и СМ2 – смесители; К – коммутатор; АТТ – аттенюатор; АЦП – аналого-цифровой преобразователь напряжения; ЦСП – цифровой сигнальный процессор; ПК – персональный компьютер; Об – объектив; СВ1, СВ2 – световолокно; Пл1, Пл2 – крепежные пластины оптоволоконна СВ1 и СВ2, соответственно выходного части ЧФ ИИС и крепежного элемента на гироскопической системе; КО – контролируемый диффузно-отражающий объект (ось гировертикали).

Принцип работы ЧФ системы, представленной на рис. 1, следующий: часть модулированного лазерного излучения ПЛИ через полупрозрачное зеркало ПЗ1, ПЗ2 и объектив Об направляется через СВ1 на контролируемый объект КО, другая часть излучения через ПЗ1 поступает на фотоприемник ФП1 опорного канала. Отразившись от КО, световое излучение через Об направляется с помощью ПЗ2 на фотоприемник ФП2.

Частота модуляции ПЛИ определяется выходным напряжением УСЧ, устанавливаемым цифровым кодом. Последний поступает на управляющие входы УСЧ из регистра памяти цифрового сигнального процессора ЦСП. Изменение частоты модуляции имеет ступенчатый характер. При этом текущее значение частоты модуляции $f_M(j)$, изменяющееся в диапазоне 22...90 МГц, можно представить в виде:

$$f_M(j) = f_0 + \Delta f \cdot j, \quad (1)$$

где f_0 – начальное значение частоты модуляции, $f_0 = 22$ МГц; Δf – шаг перестройки частоты модуляции; j – целое число, $j = 1...m$. В свою очередь $m = T_0 / \Delta t$ – целое число, где T_0 – временной интервал, соответствующий длительности цикла изменения $f_M(j)$; Δt – временной интервал определяющий в частотно-фазовых системах время ступени заданной частоты модуляции [6,7].

Выходные электрические сигналы фотоприемников ФП1 и ФП2 определяются выражениями:

$$U_{ФП1}(i\Delta t_d) = U_{m1} \sin(2\pi f_M i\Delta t_d + \varphi_k(i\Delta t_d)),$$

$$U_{ФП2}(i\Delta t_d) = U_{m2} \sin(2\pi f_M i\Delta t_d),$$

где U_{m1} и U_{m2} – амплитудные значения напряжений ФП1 и ФП2 соответственно; $\varphi_k = 2\pi L / \lambda_3$ – фазовый сдвиг, отраженного от объекта сигнала при заданной частоте модуляции f_M ; L – измеряемое расстояние; λ_3 – длина волны модулирующего напряжения f_M ; Δt_d – временной интервал дискретизации исследуемых электрических сигналов; i – целое число, $i = 1...n$. где $n = \Delta t / \Delta t_d$ – целое число.

Напряжение $U_{ФП1}$, соответствует измеряемому сигналу, поступает на один из входов смесителей СМ1 и СМ2. На вторые входы этих смесителей подаются напряжение $U_{ФП2}$, используемое в качестве опорного (гетеродинного) сигнала, причем на входы смесителей СМ1 и СМ2 напряжение подается через фазорасщепляющую цепочку ФРЦ, обеспечивающую сдвиг фазы сигналов на $\pm\varphi_{СДВ} = \pm 45^\circ$. При этом выходные напряжения смесителей определяются выражениями:

$$U_{СМ1}(i\Delta t_d) = k_1(i\Delta t_d) \cdot U_{m1} \sin(2\pi f_M i\Delta t_d + \varphi_k) \cdot U_{m2} \sin(2\pi f_M i\Delta t_d + \varphi_{СДВ}), \quad (2)$$

$$U_{СМ2}(i\Delta t_d) = k_2(i\Delta t_d) \cdot U_{m1} \sin(2\pi f_M i\Delta t_d + \varphi_k) \cdot U_{m2} \sin(2\pi f_M i\Delta t_d - \varphi_{СДВ}), \quad (3)$$

где $k_1(i\Delta t_d)$ и $k_2(i\Delta t_d)$ – функции преобразования смесителей СМ1 и СМ2 соответственно 1/В, причем $k_1(i\Delta t_d) \approx k_2(i\Delta t_d) = k(i\Delta t_d)$.

Низкочастотные составляющие напряжений $U_{СМ1}$ и $U_{СМ2}$, выделяемые фильтрами нижних частот, расположенных на выходах СМ1 и СМ2 соответственно, можно представить в виде:

$$U1(i\Delta t_d) = 0,5k(i\Delta t_d) \cdot U_{m1} U_{m2} \cos(\varphi_k(i\Delta t_d) + \varphi_{СДВ}), \quad (4)$$

$$U2(i\Delta t_d) = 0,5k(i\Delta t_d) \cdot U_{m1} U_{m2} \cos(\varphi_k(i\Delta t_d) - \varphi_{СДВ}), \quad (5)$$

Далее значения $U1(i\Delta t_d)$ и $U2(i\Delta t_d)$, представляющие собой квадратурные составляющие исследуемого измерительного сигнала, через аттенюатор АТТ поступают на вход АЦП, выходной код которого пересылается в ЦСП. Цифровые данные, переданные в ЦСП, используются для вычисления фазового сдвига φ_k на основе метода преобразования Гильберта, которое в общем виде определяется как:

$$\varphi_k = \arctg\left(\frac{\sum_{i=1}^n U1(i\Delta t_d)}{\sum_{i=1}^n U2(i\Delta t_d)}\right). \quad (6)$$

Значение φ_k из ЦСП пересылается в ПК для последующей цифровой обработки. В ПК производится преобразование частоты φ_k отраженного сигнала так, как это описано в [6]. Нормированная выходная величина системы в этом случае определяется как:

$$U_{вых}(j) = \sin(\varphi_k(j)). \quad (8)$$

Фазовый сдвиг φ огибающей принятого оптического сигнала [7] можно, также, записать как:

$$\varphi_k = 2\pi \cdot L / \lambda_3, \quad (9)$$

где L – измеряемое расстояние;

В свою очередь $\lambda_3 = c/2f_m$, где c – скорость света, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Тогда после подстановки в (9) значения λ_3 с учетом выражения (1) получим

$$\varphi_k(j) = \frac{4\pi L}{c} \cdot (f_0 + j \cdot \Delta f). \quad (10)$$

На основании (8) и (10) нормированная по амплитуде выходная величина рассматриваемой измерительной системы может быть представлена в виде:

$$U_{\text{вых}}(j) = \sin(4\pi L(f_0 + j \cdot \Delta f) / c), \quad (11)$$

Применив БПФ к выражению (11), можно показать, что значение f_c частоты спектральной составляющей, равно:

$$f_c \approx 2L\Delta f / c = k_3 L, \quad (12)$$

где $k_3 = 2\Delta f / c$ – постоянный коэффициент.

Как следует из (12), значение f_c прямо пропорционально значению L . Таким образом, осуществив ортогональную обработку входных электрических сигналов ФП1 и ФП2 для оценки фазовых сдвигов на временном интервале T_0 с учетом выборок мгновенных значений нормированной амплитуды исследуемого сигнала, можно определить f_c , а, следовательно, и измеряемое расстояние L [7]. После оценки расстояния L можно также постоянно контролировать перемещение КО, осуществляя каждый раз измерение расстояния. При этом значение перемещения ΔL контролируемого объекта КО определяется по формуле $\Delta L = L - L$, где L – значение последнего измерения расстояния до КО. При этом значение ΔL прямо пропорционально изменению угла оси гироскопика. Как показали проведенные исследования ЧФ ИИС [3,5-8] погрешность измерения расстояния составляет не более 0,05 мм, а погрешность измерения угловых перемещений составляет не более 0,005⁰ градуса.

В результате рассмотрения особенностей построения и функционирования лазерных дальномерных ИИС, основанных на применении ЧФ метода измерения угловых перемещений, установлено, что все "мешающие" объекты и блики, находящиеся на расстоянии, отличающемся от значения L , имеют спектральные составляющие другой частоты и не оказывают влияния на результат определения L . Это одно из основных преимуществ фазово-частотных дальномеров по сравнению с фазовыми ИИС. Кроме того ЧФ ИИС не присущи многие недостатки других ИИС измерения угловых перемещений.

Выводы:

В результате проведенных исследований показано, что серийно выпускаемые датчики угловых перемещений обладают высокой точностью, широким диапазоном измеряемых углов, но они имеют большие габариты, массу, высокую стоимость. А самым главным их недостатком при применении в гироскопических системах является то, что они вызывают большую погрешность от взаимодействия. Перспективным направлением является применение бесконтактных систем, в частности лазерных. Представленная в статье разработка лазерной ЧФ системы института электродинамики НАН Украины позволяет практически полностью исключить мощность, потребляемую от измеряемого объекта и значительно повысить точность измерения.

Анализ лазерной ЧФ системы указывает на необходимость проведения дальнейших экспериментальных исследований с целью совершенствования конструкции лазерного измерителя угловых перемещений, что позволит рассмотреть практический вопрос о его применении в гироскопических системах.

Литература

1. Промышленные системы и технологии [Электронный ресурс]: каталог: энкодеры фирм: Baumer, Autronics, Hubner. Каталог содержит 112 наименований изделий. По каждому изделию имеется файл с техническими характеристиками (англ.).- М., 2013.- Режим доступа www.promsytex.ru/catalog/encoder.
2. ABSOLUTE ENCODER datasheet [Электронный ресурс]: каталог энкодеров фирм: SIEMENS, OMRON, NEC, ANALOG DEVICES, ASM GmbH, National Semiconductor и др. Каталог содержит 200 наименований изделий. По каждому изделию имеется файл с техническими характеристиками (англ.).- М., 2013.- Режим доступа www.category.alldatasheet.ru.com/index.jsp.
3. Брагинец И.А. Применение фазо-частотного метода измерения расстояний в лазерной дальнометрии / Брагинец И.А., Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Ниженский А.Д. // Технічна електродинаміка.- 2004.- №6.- С. 56-60.
4. Брагинец И.А. Импульсно-фазовый измерительный преобразователь для лазерных дальномеров / Брагинец И.А., Зайцев Е.А., Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Ниженский А.Д. // Технічна електродинаміка.- 2008.- №3.- С. 74-80.
5. Брагинец И.А. Динамические характеристики фазового лазерного датчика вибраций / Брагинец И.А., Зайцев Е.А. // Технічна електродинаміка.- 2010.- №5.- С. 75-80.

6. Брагинец И.А. Частотно-фазовые лазерные измерители перемещений и вибраций с оптической калибровкой / Брагинец И.А., Зайцев Е.А., Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Ниженский А.Д. // *Технічна електродинаміка*. - 2011. - №6. - С. 71-77.
7. Зайцев Е.А. Особенности применения фазо-частотного метода в лазерной дальнометрии / Зайцев Е.А., Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Ниженский А.Д., Латенко В.И., Орнатский И.А. // *Технічна електродинаміка*. - 2008. - №6. - С. 65-71.
8. Зайцев Е.А. Специфические погрешности фазо-частотных лазерных измерителей расстояния / Зайцев Е.А., Кононенко А.Г., Масюренко Ю.А., Ниженский А.Д., Латенко В.И., Орнатский И.А. // *Технічна електродинаміка*. - 2009. - №3. - С. 50-55.

References

1. Promyshlennye sistemy i tehnologii [Jelektronnyj resurs]: katalog: jenkodery firm: Baumer, Autonics, Hubner. Katalog sodержit 112 naimenovaniy izdelij. Po kazhdomu izdeliju imeetsja fajl s tehničeskimi harakteristikami (angl.).- M., 2013.- Rezhim dostupa www.promsytex.ru/catalog/encoder.
2. ABSOLUTE ENCODER datasheet [Jelektronnyj resurs]: katalog jenkoderov firm: SIEMENS, OMRON, NEC, ANALOG DEVICES, ASM GmbH, National Semiconductor i dr. Katalog sodержit 200 naimenovaniy izdelij. Po kazhdomu izdeliju imeetsja fajl s tehničeskimi harakteristikami (angl.).- M., 2013.- Rezhim dostupa www.category.alldatasheet ru.com/index.jsp.
3. Braginec I.A., Kononenko A.G., Masjurenko Ju.A., Nizhenskij A.D. Primenenie fazo-chastotnogo metoda izmerenija rasstojanij v lazernoj dal'nometrii // *Tehnična elektrodinamika*.- 2004.- №6.- S. 56-60.
4. Braginec I.A., Zajcev E.A., Kononenko A.G., Masjurenko Ju.A., Nizhenskij A.D. Impul'sno-fazovyj izmeritel'nyj preobrazovatel' dlja lazernyh dal'nomerov // *Tehnična elektrodinamika*.- 2008.- №3.- S. 74-80.
5. Braginec I.A., Zajcev E.A. Dinamicheskie harakteristiki fazovogo lazernogo datchika vibracij // *Tehnična elektrodinamika*.- 2010.- №5.- S. 75-80.
6. Braginec I.A., Zajcev E.A., Kononenko A.G., Masjurenko Ju.A., Nizhenskij A.D. Chastotno-fazovye lazernye izmeriteli peremeshhenij i vibracij s opticheskoj kalibrovkoj // *Tehnična elektrodinamika*.- 2011.- №6.- S. 71-77.
7. Zajcev E.A., Kononenko A.G., Masjurenko Ju.A., Nizhenskij A.D., Latenko V.I., Ornatskij I.A. Osobennosti primeneniya fazo-chastotnogo metoda v lazernoj dal'nometrii // *Tehnična elektrodinamika*.- 2008.- №6.- S. 65-71.
8. Zajcev E.A., Kononenko A.G., Masjurenko Ju.A., Nizhenskij A.D., Latenko V.I., Ornatskij I.A. Speceficheskie pogreshnosti fazo-chastotnyh lazernih izmeritelej rasstojanija // *Tehnična elektrodinamika*.- 2009.- №3.- S. 50-55.

Рецензія/Peer review : 17.1.2014 р.

Надрукована/Printed : 26.3.2014 р.

UDC 621

GULA IGOR, POLIKAROVSKYKH OLEKSIY,
HORIASHCHENKO KOSTIANTYN, HORIASHCHENKO SERHIY
Khmelnitsky national university, Khmel'nitsky, Ukraine, kostyakst@smtp.ru

PHASE MEASURER BASED ON COINCIDENCES OF MULTIPLICITY IMPULSES

Abstract — A significant drawback of nonius methods used to measure the phase shifts of the signals is a need to change the pulse duration at the frequency of the input signals. To eliminate restrictions on the pulse duration nonius methods proposed to use a new method of pulses coincidence packets of digital signals.

Keywords: digital phase measurer, coincidence, programmable logic device

ГУЛА И.В., ПОЛИКАРОВСКИХ О.И., ГОРЯЩЕНКО К.Л., ГОРЯЩЕНКО С.Л.
Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна

ИЗМЕРИТЕЛЬ ФАЗЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОКРАТНОСТИ СОВПАДЕНИЙ

Аннотация - Существенным недостатком методов нони, используемых для измерения фазовых сдвигов сигналов, необходимо изменить длительность импульса на частоте входных сигналов. Для устранения ограничений на длительность импульса методов нони предлагается использовать новый метод импульсов совпадений пакетов цифровых сигналов.

Ключевые слова - цифровая фаза измеритель, совпадение, программируемого логического устройства

Introduction

The purpose is research of practical realization of phase measurer based on the use of principle of coincidence of multiplicity impulses. In figure 1 represented generic structure of measuring system. Phase measurer is an important part of this system.

I. RESEARCH PROBLEMS

As known, usage of phase measuring method for distances measuring is long-term process. It is known different methods for determination of phase angle between two signals such as: counting method without transformation phase to frequency (on frequency to 1 mc), counting method with transformation to frequency (on frequencies higher than 1 MHz), methods based on nonius measuring (like single and multiplicity) [1].

A counting method has several disadvantages: to increase accuracy required to increase requirement to the element base, measuring time also increased. By use of noniuses methods [2] allows to remove this problem partly. Noniuses methods allow to increase measuring accuracy of phase angle between two signals with use of the same element base. In addition, the method of nonius allows providing higher accuracy of measuring at the use of