



УДК 551.24

**РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ГЕТЕРОДИННЫХ ЛАЗЕРНЫХ  
ФАЗОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ.**

*Иманкулов З.И., Иманкулова З.З., Уланбек кызы Э.  
Жалал-Абадский государственный университет имени Б.Осмонова.*

**GETERODIN LAZER FAZOMETRIK TIZIMLARINING ISHLAB  
CHIQUISH VA YARATISHI.**

*Imanqulov Z.I., Imanqulova Z.Z., Ulanbek qizi E.  
B.Osmonov nomidagi Jalolobod davlat universiteti.*

**DEVELOPMENT AND CREATION OF HETERODYNE LASER PHASE-  
METRIC SYSTEMS.**

*Imankulov ZI., Imankulova ZZ., Ulanbek kyzy E.  
Jalal-Abad State University named after B. Osmonov.*

**Аннотация.** В статье описывается метод измерения фазовых сдвигов в гетеродинных системах, и оно осуществляется следующим образом. Меандры, сформированные из входных сигналов, после делителей частоты поступают на схемы совпадений. Длительность импульсов совпадений определяется фазовым сдвигом между меандрами. Выделение постоянной составляющей этих импульсов в интеграторе позволяет формировать на выходе напряжение, значение которого пропорционально фазовому сдвигу.

**Ключевые слова:** Лазер, фаза, гетеродинная, электрооптический эффект, меандр, импульс.



**Abstrakt.** Ushbu maqolada heterodin tizimlarida faza almashinuvini o'lchash usuli tasvirlangan. Kirish signallaridan hosil bo'lgan meandlar chastota ajratgichlaridan keyin tasodifiy davrlarga beriladi. Tasodifiy impulslarning davomiyligi meanderlar orasidagi faza siljishi bilan belgilanadi. Ushbu impulslarning doimiy komponentini integratorida ajratib olish faza almashinuviga mutanosib ravishda chiqish kuchlanishini yaratishga imkon beradi.

**Kalit so'zlar:** Lazer, faza, geterodin, elektro-optik effekt, meander, puls.

**Abstract.** This article describes a method for measuring phase shifts in heterodyne systems. Meanders formed from input signals are fed to coincidence circuits after frequency dividers. The duration of the coincidence pulses is determined by the phase shift between the meanders. Extracting the DC component of these pulses in the integrator allows for the generation of an output voltage proportional to the phase shift.

**Keywords:** Laser, phase, heterodyne, electro-optic effect, meander, pulse.

Совместное детектирование двух оптических полей

$$\begin{aligned} V_1(\vec{r}, t) &= A_1(\vec{r}) \exp[i(\omega_1 t + \varphi_1)] \\ V_2(\vec{r}, t) &= A_2(\vec{r}) \exp[i(\omega_2 t + \varphi_2)] \end{aligned} \quad (1)$$

даёт на выходе фототок, определяемый в виде [1]

$$j(t) = \frac{e\eta}{h\nu} \int_{\sigma} I(\vec{r}, t) d^2r, \quad (2)$$

где  $e$  – заряд электрона;  $\eta$  – квантовая эффективность приемника;  $h\nu$  – средняя энергия фотонов взаимодействующих полей. При этом интенсивность суммарного поля будет равна [1]:

$$\begin{aligned} I(\vec{r}, t) &= |V_1(\vec{r}, t) + V_2(\vec{r}, t)|^2 + |V_1(\vec{r}, t)|^2 + \\ &+ |V_2(\vec{r}, t)|^2 + V_1 \cdot (\vec{r}, t) V_2(\vec{r}, t) + V_1(\vec{r}, t) V_2 \cdot (\vec{r}, t) \end{aligned} \quad (3)$$



Первые два правой части (3) дают на выходе постоянные составляющие фототока, зависящие от амплитуд взаимодействующих полей. Третье и четвертое – комплексно-сопряженные слагаемые – определяют переменный сигнал на разностной частоте:

$$j_{\sim}(t) = 2 \frac{e\eta}{h\nu} |A_1| |A_1| \cos[(\omega_1 - \omega_2)t + \Delta\varphi], \quad (4)$$

который содержит информацию, как об амплитуде, так и о фазе регистрируемых полей. Составляющая (2) может быть отделена от постоянных и других составляющих методами спектральной фильтрации. Если  $\omega_2 = \omega_1 + \Omega$  и  $\Omega \ll \omega_1$ , то фазовая информация с оптического диапазона переносится в радиодиапазон, что позволяет ее регистрацию и обработку электронными методами.

Для практической реализации вышеизложенного было разработано и использовано ряд способов и устройств переноса измеряемого фазового сдвига в радиодиапазон. На рис.1 представлена блок схема системы, использующей два He-Ne лазера с поперечным сверхвысокочастотным разрядом [5], которые установлены в виде единого блока с общей несущей конструкцией, помещенной внутри защитного кожуха. Для выделения разностной частоты  $\Omega$  излучения обоих лазеров смешиваются на полупрозрачной пластинке и направляются на фотоприемник  $\Phi_1$ , выходной сигнал которого подается на узкополосный фильтр с полосой пропускания  $\Delta\Omega=10$  кГц на частоте  $\Omega=1$  МГц. После формирователя УФ этот сигнал поступает на схему частотно-фазовой автоподстройки (ЧФАП) [2-4], которая является следящей системой и поддерживает стабильной разность частот излучения лазеров ( $\Omega=10$  к Гц) при наличии акусто-, вибро- и термовозмущений. ЧФАП состоит из частотного и фазового колец регулирования, которые в зависимости от вариаций сигнала биений вырабатывают управляющие напряжения для пьезокорректоров ПК1 и ПК2,



чувствительность которых составляет 0,007 мкм/В. Изменение длин резонаторов используемых лазеров происходило в противоположных направлениях, что достигалось формированием разнополярных напряжений на выходе ЧФАП. Для исключения неоднозначности при гетеродинировании, обусловленной присутствием двух продольных мод в лазерном излучении, длины резонаторов отличалась на 1 см, что давало отличие частот излучений на 15 МГц и устраняло влияние не основных биений. Данный способ синхронизации частот излучения путем частотно-фазовой привязки позволило смягчить требования к частотной стабильности излучения используемых лазеров.

Сдвиг оптической несущей может быть осуществлен также использованием дифрагированной на акустических волнах световой волны. В имеющихся в настоящее время подобных [6-9] гетеродинных системах из-за большего частотного сдвига (80÷250 МГц) несущей и ограниченного быстродействия электронных фазометров применяются не менее двух акустооптических модуляторов (АОМ). При практической реализации такая ситуация порождает дополнительные погрешности, сопряженные со сдвигом фаз в оптическом и электронных трактах. Разработанная схема (рис.2), сохраняя все преимущества гетеродинного метода, позволила использовать лишь один АОМ, что создало определенные условия удобства, связанные с настройкой и проведением измерений [2,3]. Необходимая мощность акустических колебаний создавалась с помощью генератора ГВЧ и усилителя мощности УМ. При падении лазерного излучения на АОМ оно расщеплялось на два пучка, имеющих сдвиг оптической частоты. Достаточно широкая полоса рабочих частот (~40МГц) и дифракционная эффективность ( $\geq 40\%$ ) позволили выбирать наиболее оптимальное значение разностной частоты  $\Omega = 53,3$  МГц.



Вместе с тем этому методу присущи дополнительные сложности, связанные, в том числе и с помехами в приемном тракте на разностной частоте, так как необходимая акустическая мощность доходит до  $10 \div 20$  Вт. Кроме того, на таких высоких частотах оказывается затруднительным совместная реализация большого усиления и высокой избирательности, что ограничивает чувствительность гетеродинных интерферометров, не говоря уже о фазоизмерительном устройстве. Оптическое гетеродирование с помощью линейного электрооптического эффекта [3] в диапазоне пониженных частот исключает вышеизложенные недостатки. С этой целью был использован [6] фазовый модулятор на основе электрооптического кристалла ниобата лития с полуволновым напряжением  $U_{\lambda/2} = 180$  В и равномерной частотной характеристикой в диапазоне  $0 \div 10$  МГц (рис. 2).

Высокое модулирующее напряжение в виде меандра, получаемое с помощью импульсного генератора Г и усилителя напряжения У, подавалось на фазовый модулятор ФМ, что позволяло получать фазоманипулированное выходное излучение. При соответствующей установке рабочей точки модулятора с помощью постоянной составляющей напряжения усилителя фаза излучения через период (1 мкс) скачкообразно изменялась на  $\pm\pi$ . Это приводило к расщеплению несущей оптической частоты в дискретный спектр, где основная доля мощности приходилась на две частоты со сдвигом  $\Omega = \pm 1$  МГц относительно немодулированной. При гетеродинировании модулированного и немодулированного излучений (Ф1) и дальнейшей

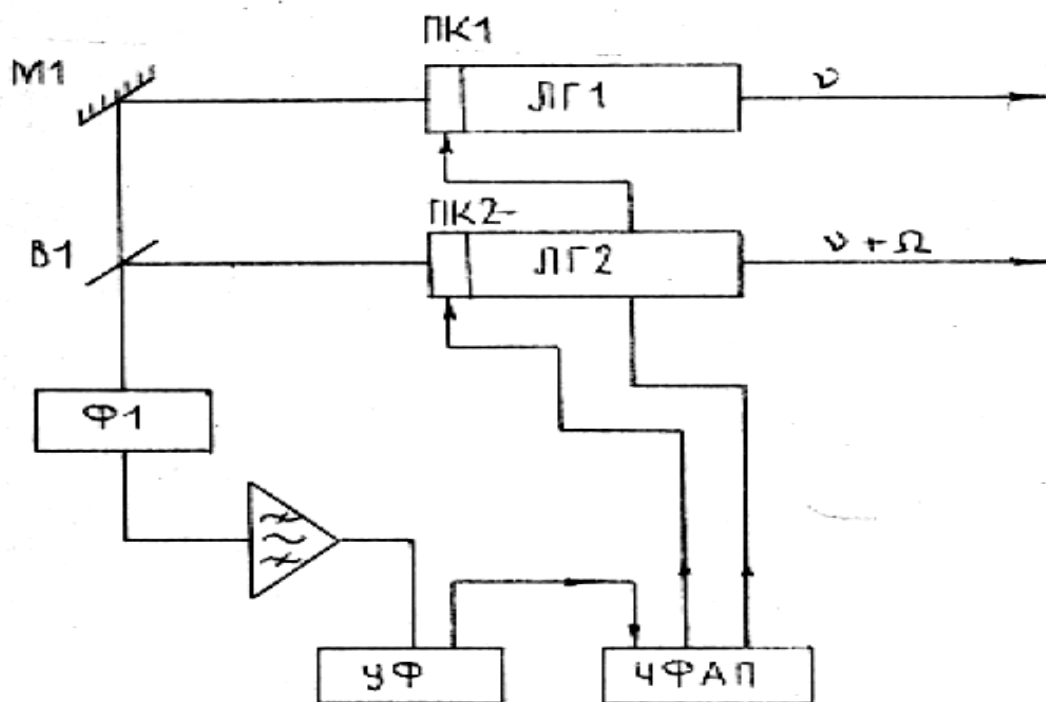


Рис.1. Схема выделения разностной частоты лазерным гетеродированием

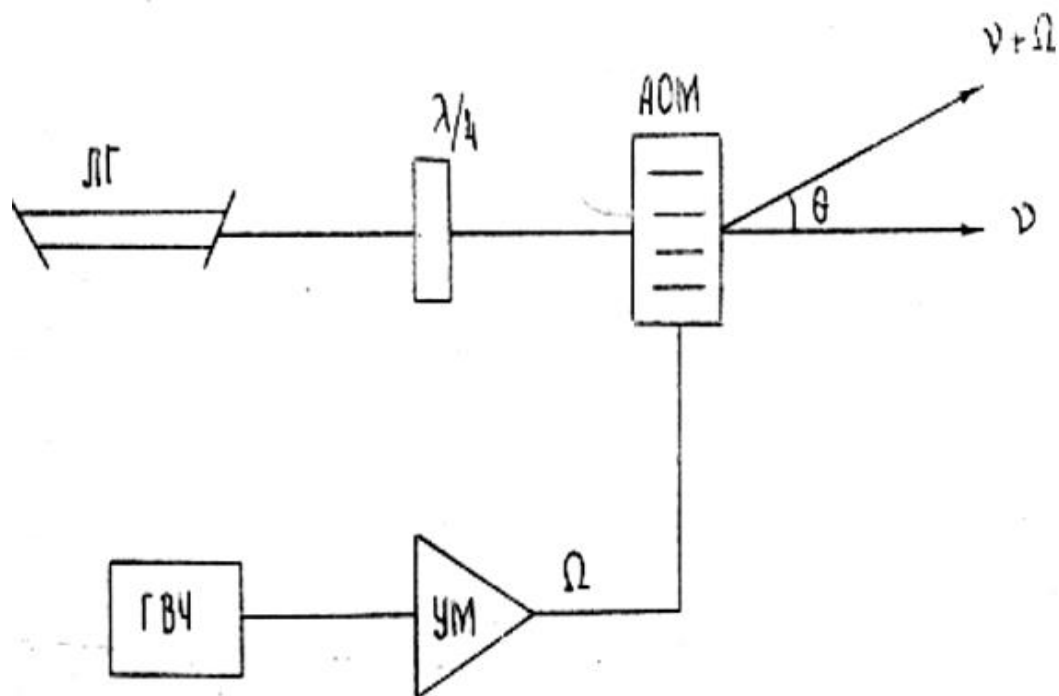


Рис. 2. Схема акустооптического метода сдвига частоты оптической несущей



фильтрации выделяется сигнал биений на удвоенной частоте модуляции, т.е.  $2\Omega=2\text{МГц}$ .

Для эффективного использования вышеизложенных гетеродинных систем при регистрации фазовой информации на разностной частоте к электронным фазометрам предъявляются требования наличия достаточно широкого частотного и динамического диапазонов. В существующих ныне подобных устройствах расширение динамического диапазона приводит к уменьшению быстродействия и точности [7-10] измерений, что неудовлетворительно для наших задач. Поэтому был разработан и создан фазовый детектор с расширенным частотным ( $1\div 70$  МГц) и динамическим ( $0\div 64\pi$ ) диапазоном [2,4, 11-14].

Его интерфейсная часть, включающая в себя элементы М1-М6, обеспечивает связь с магистралью. Функциональная часть модуля состоит из двух формирователей (М9, М10), делителей частоты (М11, М12), коммутатора двоичных сигналов (М13-М15), масштабирующего (М17) и дифференциального (М18) усилителей.

Измерение фазовых сдвигов осуществляется следующим образом. Меандры, сформированные из входных сигналов, после делителей частоты поступают на схемы совпадений. Длительность импульсов совпадений определяется фазовым сдвигом между меандрами. Выделение постоянной составляющей этих импульсов в интеграторе позволяет формировать на выходе напряжение, значение которого пропорционально фазовому сдвигу.

### Литература

1. Иманкулов З.И., Убайдуллаева Р., Якубов А.Н. Измерения разности фаз двух квантовых полей. Журнал «Автометрия», 1997, №3, стр.93-98.



2. Imankulov Z, I., Mirzaev A.T., Yakubov A.N. Laser interferometers with Reduced Heterodyning Frequency. Instruments and Experimental Techniques, vol. 41, №6, 1998, p 80-82.
3. Иманкулов З.И., Мирзаев А.Т., Якубов А.Н. Лазерный интерферометр с пониженной частотой гетеродина. Журнал Приборы и техника эксперимента, 1998, №6, стр.132-134.
4. Азаматов А.З., Вильданов Р.Р., Мирзаев А.Т. Якубов А.Н. Радиотехника, 1996, №10, с.43.
5. Иманкулов З.И., Миринояттов М.М. Исследование одночастотного режима генерации в мощном He-Ne лазере с ПСВЧР// ЖПС -1997. -N 1. – с.116-118.
6. Иманкулов З.И., Доноев Т.А., Якубов А.Н. Исследование характеристик гетеродина лазерных деформографов. Вестник ОшГУ, вып.6., 2003, серия физико- математическая, стр. 22-24
7. Бергер Д., Лавберг Р., Лазерный измеритель деформаций земной коры., Приборы для научных исследований, 1969, N12, с.41-48.
8. Алешин В.А., Дубров М.Н., Яковлев А.П. Лазерный интерферометр для измерений деформаций земной коры, Доклады АН СССР, 1980, т.253, N6, с.1343-1346.
9. Белоусова И.М., Горшков А.С., Золотов А.А. и др. Лазерный интерферометр для исследования деформаций земной коры, ОМП, 1981, N4, с.24-26.
10. Долгих Г.И., Копвиллем У.Х., Павлов А.Н., Наблюдение собственных колебаний Земли лазерным деформометром. Известия АН СССР, Физика Земли N2, 1983, с.15-20.
11. С.Н. Багаев, А.С. Дычков, А.Э. Ом, В.А. Орлов, Ю.Н. Фомин, В.П. Чеботаев «Двухчастотная интерферометрическая система для измерения линейных перемещений» Патент RU №1362923, приоритет от 13.08.85г.



12. С.Н. Багаев, В.А. Орлов, Ю.Н. Фомин, В.П. Чеботаев «Гетеродинные лазерные деформографы для прецизионных геофизических измерений» Известия академии наук. Физика Земли, 1992, №1 с 85-91.
13. С.Н. Багаев, В.А. Орлов, А.Ю. Рыбушкин, В.М. Семибаламут, Ю.Н. Фомин «Двухчастотная лазерная интерферометрическая система, для измерения линейных перемещений» Патент RU №2082085, приоритет от 22.04.94.
14. В.А.Орлов, Ю.Н. Фомин, В.М. Семибаламут, Д.О. Терешкин, В.А. Жмудь. Автоматика и программная инженерия, 2014, № 3((9), стр.54-65.

#### Сведение об авторах:

1. Имонкулов Зокиржон Иманкулович - к.ф.-м.н., профессор кафедры «Физика и информатика» ЖАГУ. г. Манас, Кыргызская Республика  
моб. тел. +996772685869, +996558005095. [imankulovz@bk.ru](mailto:imankulovz@bk.ru)
2. Иманкулова Зухра Закиржановна- преподаватель кафедры. г. Манас, Кыргызская Республика
3. Уланбек кызы Элмара- магистрант кафедры. г. Манас, Кыргызская Республика