

Градиенты температур на нижней и верхней границах раздела первого гетероперехода CuInSe_2 отличаются примерно на $0,35 \cdot 10^4$ К/м в апреле и июле (штриховая линия, рисунок 2, б и в) и на $\sim 0,45 \cdot 10^4$ К/м в январе и октябре (штриховая линия, рисунок 2, а и з).

Учитывая значения термоЭДС гетероперехода [6] толщиной 3 мкм и то, что генерируемое им напряжение $\sim 0,4$ мВ приводит к увеличению эффективности СЭ на 1 % при максимальной засветке и более 1 % при уменьшении солнечной радиации вследствие облачности и других причин. С другой стороны, введение второго гетероперехода изменяет температуру тонкопленочного солнечного элемента CuInSe_2 при тех же условиях на $0,5$ °С и несущественно влияет на эффективность последнего.

Таким образом, в предложенном тонкопленочном СЭ за счет использования теплоотвода через слой термоэлемента к подложке, тыльная сторона которой поддерживается при постоянной температуре, возможно увеличение эффективности преобразования солнечного излучения в электричество как минимум на 1 %. Проведенное моделирование показывает, что использование тандема

“СЭ – термоэлемент” на основе CuInSe_2 при концентрации солнечного излучения (с охлаждением тыльной стороны) не только в разы повышает выходную мощность за счет стабилизации температуры, а значит – КПД, но и позволяет увеличить эффективность работы всего тандема. Моделирование проводилось для неподвижного устройства без механического слежения за Солнцем.

1. Новиков, Г.Ф. Солнечные преобразователи третьего поколения на основе Cu-In-Ga-(S, Se) / Г.Ф. Новиков, М.В. Гапанович // УФН. – 2017. – Т. 187, № 2. – С. 173–191.
2. Easily realizable heterojunction CdS/CuInSe₂ thin films photovoltaic application / A. Mandjoub [et al.] // Chalcogenide Letters. – 2015. – Vol. 12, no. 2. – P. 59–66.
3. Infiltrated photonic crystals for light-trapping in CuInSe₂ nanocrystal-based solar cells / S. Dottermusch [et al.] // Optics express. – 2017. – Vol. 25, no. 12. – P. A502–A514.
4. Davis, M.W. Prediction of building integrated photovoltaic cell temperatures / M.W. Davis, A.H. Fanney, B.P. Dougherty // J. Sol. Energy Eng. – 2001. – Vol. 123, 200–210 (2001).
5. Пат. РБ № 20481 / А.К. Есман, В.К. Кулешов, Г.Л. Зыков, В.Б. Залеский, Т.Р. Леонова // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 5. – С. 120.
6. Магомедов, М.-П.А. Термоэлектрические и фотоэлектрические свойства р-п-гетероструктур $\text{CuInSe}_2/\text{CdS}$, полученных методом квазиравновесного осаждения / М.-П.А. Магомедов, Ш.М. Исмаилов, Дж.Х. Магомедова, П.П. Хохлачев // ФТП. – 2000. – Т. 34, вып. 6. – С. 689–691.

УДК 621.317

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ДАТЧИК ИЗМЕРЕНИЯ БИЕНИЯ ВАЛА ТУРБО- И ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Зайцев Е.А.¹, Сидорчук В.Е.²

¹ Институт электродинамики НАН Украины

² Киевский национальный торгово-экономический университет
Киев, Украина

Во время работы и при плановых осмотрах турбо- и гидрогенераторов возникает необходимость в контроле биений боковых цилиндрических поверхностей валов ротора в нескольких контрольных сечениях по длине вала. Полученные данные используются при балансировке вала, минимизации динамического дисбаланса обусловленного технологическими погрешностями при изготовлении и сборке, повреждениями, осевыми деформациями вала, которые возникают при эксплуатации, например при износе подшипников [1]. При этом как указано в [2], использование датчиков вибрации корпуса неэффективно для мониторинга машин в которых вибрация, производимая движением или положением вала, значительно гасится масляной пленкой подшипника. В связи с чем возникает необходимость в непосредственном контроле параметров биений валов.

Таким образом, создание датчиков для подсистем контроля биения валов турбо- и гидрогенераторов является актуальной научно-технической проблемой обеспечения безопасной и бесперебойной работы гидрогенераторов.

Классическим методом контроля биения является применение механических индикаторов [1]. Для минимизации воздействия на объект со стороны измерительного оборудования измерения проводят бесконтактными способами.

Наиболее известной подсистемой бесконтактной системой вибрационного контроля является VibraWatch - Vibration Monitoring System [3], разработанная как часть универсального контрольно-диагностического комплекса ZOOM [4] компанией VibroSystM Inc. (Канада). Для измерения вибраций в данной системе используется ёмкостной датчик PCS-102, преимуществами которого является низкая стоимость, простота конструкции и высокая точность измерения. Но при этом ему присущи и недостатки, связанные с диэлектрическими свойствами среды эксплуатации. Последнего недостатка лишены оптические датчики.

Наибольшее распространение получили оптические датчики на основе триангуляционного и амплитудного методов измерения. Недостатками триангуляционного метода является влияние турбулентности среды между датчиком и поверхностью вала на

пространственное положение отраженного излучения, позиционируемое на CCD линейке датчика. В случае применения амплитудного метода весомой является погрешность, вызванная кратковременной нестабильностью амплитуды принимаемого оптического излучения. Поэтому целесообразным является рассмотрение использования фазового метода для реализации датчиков биения валов. Суть метода заключается в измерении разницы фазового сдвига между принятым и зондирующим сигналами. При этом биения исследуемой поверхности приводят к фазовой модуляции высокочастотной огибающей принятого оптического сигнала. Учитывая труднодоступность и тяжелые условия эксплуатации датчиков, предлагается для передачи и приема оптического излучения использовать оптоволоконные линии [5].

Учитывая узкость спектральной характеристики вертикально-излучающих лазеров (VCSEL) [6] обеспечивает возможность когерентного сложения оптических сигналов от двух источников, один из которых можно считать приемником, а второй – соответственно передатчиком. В данном случае, появляется возможность реализации гетеродинного или гомодинного приема, что позволяет перенести спектр информационного сигнала в область промежуточных частот. Тем самым обеспечивается эффективная обработка и выделение сигналов, а также перенастройка в широкой области частот при использовании управляемых синтезаторов частоты [7] в качестве генераторов сигналов. Кроме этого, соответствующим выбором мощности гетеродина удастся подавить все шумы гетеродина (кроме дробового шума). Это обстоятельство позволяет обеспечить максимальное отношение сигнал-шум на приемной стороне. Сигнал фотодетектора при этом зависит только от разности фаз колебаний [12]

$$U(t) = U_0 + U_m \cos(\varphi_x). \quad (1)$$

При вычислении фазового сдвига по формуле (1) нетрудно показать, что вычисления при малых амплитудах биений (виброперемещений) производятся на краях четвертей полного фазового сдвига, где малые значения виброперемещений приводят к большим значениям относительной погрешности вычисления фазового сдвига. Поэтому при получении результата измерения предлагается в измерительную цепь вводить дополнительный фазовый сдвиг с помощью специально подобранных по длине оптоволокон ВОЛ₃...ВОЛ₆, что позволит проводить вычисления в оптимальной области $\varphi_{com} = 45^\circ$. В этом случае не сложно показать, что выражение (1) на выходе ДУ (рис.1) примет следующий вид

$$U(t) = \cos(\varphi_x + \varphi_{com}). \quad (2)$$

Структурная схема оптоэлектронного датчика биения валов приведена на рис.1. На схеме приняты следующие обозначения: ВОК₁, ВОК₂ – волоконно-оптические кабели; ВОЛ₁...ВОЛ₆ – волоконно-оптические линии; ВОЖ₁, ВОЖ₂ – волоконно-оптические жгуты; ОС₁, ОС₂ – оптические сплиттеры (разветвители); П – поляризатор; СЗ – система зеркал; Ф – оптический фильтр; А – анализатор; ПЛИ – полупроводниковый лазерный излучатель; ФД₁, ФД₂ – фотодетекторы (pin фотодиоды); ИУ₁, ИУ₂ – избирательные усилители; МСЧ – малогабаритный синтезатор частоты; Д – драйвер ПЛИ; Инт – интерфейс; Гт – генератор тактовый; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ЦСП – цифровой сигнальный процессор; ЭВМ – электронно-вычислительная машина; УСЧ – управляемый синтезатор частоты; ОЧДБ – оптическая чувствительная часть оптоэлектронного датчика биений.

Структура измерительного канала 1 и 2 полностью аналогична.

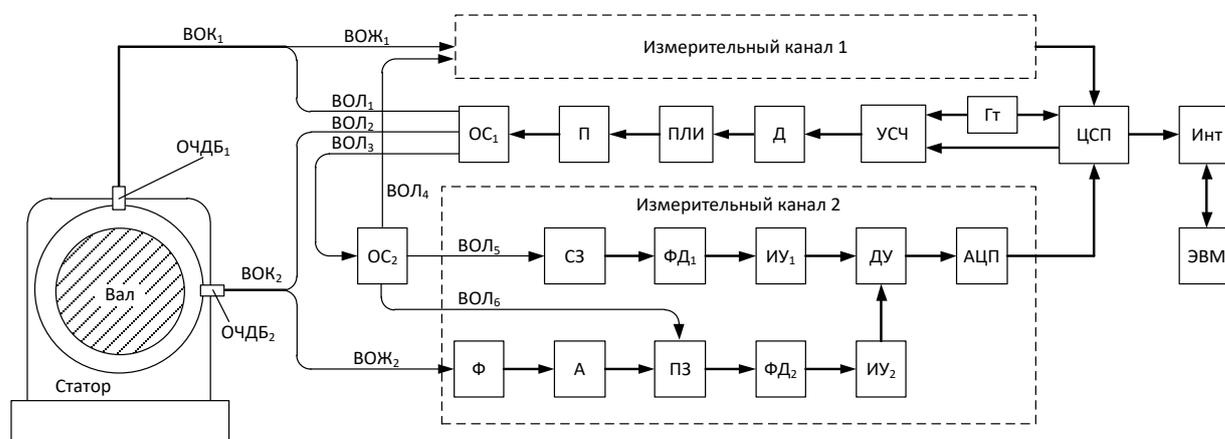


Рисунок 1 – Структурная схема оптоэлектронного датчика биений вала

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

– предложенная в докладе структура оптоволоконного датчика может найти применение для контроля биения валов в мощных гидрогенераторах при воздействии сильных электромагнитных полей;

– для предложенной структуры датчика целесообразно определить порог чувствительности и разрешающую способность в зависимости от частоты модуляции зондирующего излучения; проанализировать основные погрешности, возникающие в структуре датчика, с целью реализации способов их компенсации.

1. Левицкий А.С., Федоренко Г.М., Грубой О.П. Контроль состояния мощных гидро- и турбогенераторов с помощью емкостных измерителей параметров механических дефектов. – Киев: ИЭД НАН Украины, 2011. – 242 с.
2. Eddy Current Displacement Transducer Specifications PR 6423. Application note
3. VibraWatch. Vibration Monitoring System. Application note
4. On-line Monitoring of Hydro Generating Units for Optimized Operation and Maintenance. Application note.
5. Зайцев Е. А. Самокорректирующиеся электронные преобразователи для лазерных измерителей перемещений и вибраций [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.05 / Зайцев Е. А.; Нац. акад. наук Украины, ИЭД. – Киев, 2011. – 165 с.
6. Michalzik R., Ebeling K. J. Operating principles of VCSELs // Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser Devices. – Springer Berlin Heidelberg, 2003. – С. 53-98.
7. Зайцев Е.А. Исследование погрешности установки частоты синтезаторов частотно-фазовых систем с использованием LABVIEW// Технічна електродинаміка. -2014.- №2. - с. 84-88.

УДК 621.792.4

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ЗАПИСИ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ОБЪЕМНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Зайцева Е.Г., Кислюк А.А., Ларионова Т.О.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

В настоящее время в связи с расширившимися возможностями в области записи и воспроизведения объемного изображения возросла и потребность в использовании такого вида информации в научной и технической сферах. В данном случае с точки зрения высокой точности представления информации очевидны высокие требования к качеству изображения.

Обзор и оценка известных методов подробно рассмотрены в [1, 2]. Из них наиболее точным является голографический метод, но в силу определенных технических и эргономических проблем его использование в настоящее время ограничено. Стереоскопические системы независимо от способа технической реализации при наблюдении с близких расстояний неблагоприятно влияют на нервную систему, вызывая повышенную утомляемость. Поэтому представляет интерес применение метода, называемого «интегральная фотография», но на основе цифровых, а не аналоговых преобразователей «свет-сигнал» и «сигнал-свет».

Результаты теоретического и экспериментального исследований традиционного метода интегральной фотографии с использованием аналогового преобразователя (фотопластинки) рассмотрены в [3]. Замена фотопластинки на цифровые преобразователи в виде светочувствительной матрицы и дисплея, состоящих из отдельных элементов, привела к возникновению двух дополнительных процессов дискретизации (при съемке и воспроизведении), что создало возможность появления новых видов искажений.

Источникам искажений, не связанных с дискретной структурой преобразователя, является отсутствие ограничения поля зрения линзовых элементов. В [4] были обоснованы требования к количеству ракурсов воспроизводимого объекта при использовании интегрального метода на основании условия отсутствия искажений изображения при использовании линзовых элементов без ограничения их поля зрения. При этом допускалось, что точка А (см. рис. 1), чье изображение формируется (назовем ее центральной), располагалась на перпендикуляре к оси матрицы, проходящем через центр пересечения осей симметрии преобразователя. Назовем этот центр центром матрицы. В этом случае формула для расчета максимального количества ракурсов n_{\max} в заданном направлении имела вид

$$n_{\max} = \frac{z-F}{F} + 1$$

для четного числа кадров на матрице и

$$n_{\max} = \frac{z-F}{F},$$

где z – расстояние от точки А до плоскости линзовой матрицы, F – фокусное расстояние линзы.

Из этих формул очевидно, что для точек лежащих на оси, проходящей через центр матрицы, максимальное число возможных ракурсов растет с расстоянием между матрицей и объектом и падает с ростом фокусного расстояния линзовых элементов.