

ПРИМЕНЕНИЕ ЛЧМ-МОДУЛЯЦИИ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Зайцев Е.А.¹, Левицкий А.С.¹, Сидорчук В.Е.²

¹Институт электродинамики НАН Украины

²Киевский национальный торговко-экономический университет

Киев, Украина

Мониторинг воздушного зазора между статором и вращающимся ротором гидрогенератора в процессе эксплуатации позволяет по отклонению текущего значения величины зазора от нормы судить об эксцентриситете ротора, искажении формы ротора или статора и износе подшипников [1]. Таким образом, построение систем мониторинга воздушного зазора является актуальной научно-технической проблемой обеспечения безопасной и бесперебойной работы гидрогенераторов.

Как известно [2], контроль воздушного зазора может осуществляться с помощью оптических систем. Принимая во внимание труднодоступность и тяжелые условия эксплуатации датчиков, авторами предлагается для передачи и приема оптического излучения использовать оптоволоконные линии. В данном случае чувствительная часть системы оптического контроля реализована на основе 2-х лазерных датчиков. Датчики

размещены на одной стороне сердечника статора на расточке под углом 90° друг к другу, а средства обработки отнесены на некоторое необходимое расстояние, обеспечивающее низкий уровень внешних неблагоприятных воздействий (электромагнитные поля, температура и т.д.). Разработанная структурная схема, реализующая систему оптического контроля, представлена на рис.1. На схеме приняты следующие обозначения: МСЧ – малогабаритный двухканальный синтезатор частоты, ГТ – тактовый генератор, ЛИ – лазерный излучатель, СМ – смеситель, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, ЦСП – цифровой сигнальный процессор, КК – оптическая ячейка Керра, ЛЗ – оптическая линия задержки, Л – линза, ПЗ – полупрозрачное зеркало, ОР – оптический разветвитель, ОБ – оптоволоконно, ОА – оптический адаптер, ЭВМ – электронно-вычислительная машина, ОБЛ – оптоволоконная линия, ОС – оптический сенсор.

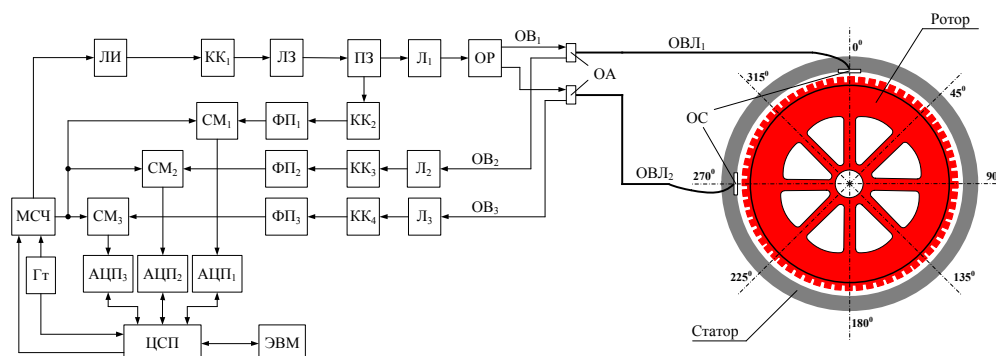


Рисунок 1 – Структурная схема оптической системы контроля воздушного зазора

Принцип работы предложенной схемы основан на использовании линейного изменения частоты модуляции (ЛЧМ-модуляции) лазерного зондирующего излучения. В этом случае значение частоты модуляции зондирующего сигнала изменяется по линейно-ступенчатому закону в течение длительности цикла измерения (рис.2.б). Значение частоты модуляции определяется выходным напряжением МСЧ в качестве которого использовано две микросхемы AD9954 [3]. Параметры выходного напряжения МСЧ задаются через управляющие коды ЦСП [4]. При этом напряжения, получаемые на выходах СМ₂ и СМ₃ в результате перемножения зондирующего и эхо-сигналов, соответствуют разнице частот между сигналами и прямо

пропорциональны расстояниям от оптических сенсоров до измеряемых полюсов ротора или межполюсного пространства (рис.2.а). Модуляционное напряжение с одного из выходов МСЧ подается на лазерный излучатель (ЛИ) с выхода которого лазерный поток через ячейку Керра (КК₁), используемую в качестве оптического управляемого ЦСП оптического затвора при калибровке системы, поступает на оптическую линию задержки (ЛЗ), формирующую необходимую задержку зондирующего излучения для формирования начального значения разностной частоты между зондирующим и эхо-сигналами. С выхода ЛЗ часть оптического излучения через полупрозрачное зеркало (ПЗ) поступает на

измерительные оптические сенсоры (ОС) через оптический разветвитель (ОР), оптоволокну (ОВ₁) далее оптический адаптер (ОА) и волоконную линию (ОВЛ₁). Остальная часть оптического излучения поступает на калибровочный канал, состоящий из оптической ячейки Керра (КК₂), фотоприемника (ФП₁), смесителя (СМ₁) и АЦП₁. Код с выхода АЦП₁ передается в ЭВМ при помощи ЦСП для дальнейшей обработки.

Отраженное модулированное лазерное излучение через приемное оптоволокну (ОВЛ₁) поступает на измерительный канал через оптический адаптер (ОА). С выхода ОА оптическое излучение в измерительном канале через приемную линзу (Л₂) и ячейку Керра (КК₃) попадает на фотоприемник (ФП₂). С выхода фотоприемника информационный сигнал в виде напряжения поступает на смеситель (СМ₂). Временная диаграмма, соответствующая форме напряжения на выходе ФП₂, приведена на рис.2.в. С выхода ФП₂ сигнал поступает на АЦП₂ с выхода которого цифровые данные поступают в ЭВМ для дальнейшей статистической обработки. Второй канал, размещенный под углом 90° к первому, работает аналогичным образом уже рассмотренному.

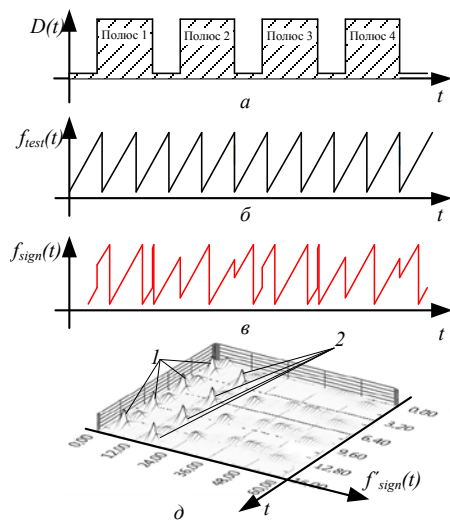


Рисунок 2 – Временные диаграммы

Для проверки принципа работы предложенной структурной схемы была разработана и выполнена в среде графического программирования NI LabView [5] имитационная модель лазерной системы мониторинга воздушного зазора, при помощи специальных модулей, входящих в состав LabView, а также простейших арифметических операций. При проведении исследований работы системы на основе разработанной модели был разработан модуль, имитирующий появление полюсов ротора

и межполюсного пространства над оптическим сенсором. Временная диаграмма сигнала разработанного модуля в декартовой системе координат показана на рис.2.а. Временная диаграмма изменения частоты зондирующего сигнала изображена на рис.2.б. Временная диаграмма, соответствующая изменению частоты эхо-сигнала, показана на рис.2.в. На рис.2.д приведены результаты работы программно-математических средств статистического анализа дискретных отчетов информационных эхо-сигналов. Для анализа полученных информационных сигналов применялось скользящее преобразование на основе быстрого преобразования Фурье с размещением полученных спектрограмм в режиме «водопад». Полученные "пики" спектральных составляющих обозначенные 1 соответствуют полюсам, а 2 соответствуют межполюсному пространству. При этом значении частоты "пики" спектральной составляющей имеет прямую зависимость от заданного в модели воздушного зазора до полюса и до "дна" межполюсного пространства.

В результате проведенных исследований на разработанной имитационной модели были показаны работоспособность предложенной структуры и принципы работы волоконно-оптической системы мониторинга воздушного зазора гидрогенераторов на основе использования ЛЧМ-модуляции.

1. Левицкий А.С., Федоренко Г.М., Грубой О.П. Контроль стану потужних гідро- та турбогенераторів за допомогою ємнісних вимірювачів параметрів механічних дефектів. – Київ: Ін-т електродинаміки НАН України, 2011. – 242 с.
2. Куликов Д.В., Аникин Ю.А., Двойнишников С.В., Меледин В.Г. Лазерная технология определения геометрии ротора под нагрузкой // Электрические станции. – 2010. – №7. – С. 39–43.
3. Manual AD9854 400 MSPS, 14-Bit, 1.8 V CMOS, Direct Digital Synthesizer Reference Manual [Electronic resource].
4. Зайцев Е.А. Исследование погрешности установки частоты синтезаторов частотно-фазовых систем с использованием LABVIEW // Технічна електродинаміка. – 2014. – №2. – С. 84-88.
5. Тревис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 880 с.
6. Андерсон, Т. Статистический анализ временных рядов // Монография: пер. с англ. под ред. Ю. К. Беляева – М.: Мир. – 1976. – 757 с.