

УДК 620.179.18

РАДИОВОЛНОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДЕФОРМАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ВАЛОВ ТУРБОАГРЕГАТОВ

Грецков А.А., Бояркина У.В., Данилин А.И.

Самарский университет, г. Самара, Россия, greckov1989@rambler.ru

Ключевые слова: вал, турбоагрегат, преобразователь, радиоволновый преобразователь, перемещения, автодин, ротор, амплитуда, частота.

Увеличение надежности и ресурса элементов вращающихся узлов турбоагрегатов является основой их безопасной эксплуатации, что обуславливает потребность в информации о фактическом состоянии нагруженных вращающихся элементов, среди которых самым крупным является вал ротора. При неправильной центровке соединяемых валов, изнашивании кинематических пар в процессе эксплуатации, люфтов в соединениях механизмов, неправильного выбора конструктивных и динамических параметров возникают колебательные процессы, которые могут привести к возникновению резонансных явлений и аварийных ситуаций [1]. Так одной из главных причин разрушений роторов турбин является накопление усталостной поврежденности вследствие крутильных колебаний ротора, приводящее к повреждениям вала [2]. По этой причине востребована разработка эффективных средств диагностики и контроля деформационного состояния ротора турбоагрегата, которое в свою очередь определяется перемещениями вала.

Известны различные методы и средства контроля деформационного состояния валов эксплуатируемых турбоагрегатов [1-3]. Среди этих методов наиболее информативным является применение бесконтактных радиоволновых преобразователей перемещений, принцип действия которых основан на анализе величины электромагнитного излучения, отраженного от поверхности контролируемого вала. Данные первичные преобразователи отличаются быстродействием, экономичностью и возможностью работы в условиях оптической загрязненности внешней среды. В случае автодинного построения радиоволновых преобразователей обеспечиваются одновременно функции передатчика и приемника отраженного от объекта излучения и преобразователя с усилением полезного сигнала, что позволяет значительно минимизировать габаритные размеры датчика и уровень препарирования корпуса турбоагрегата [3]. В силу перечисленных достоинств широкое распространение получили радиоволновые автодинные первичные преобразователи СВЧ диапазона, в частности, реализованные на диодах Ганна, которые обладают малой потребляемой мощностью, высокой точностью и малой инерционностью [4]. Применение таких бесконтактных преобразователей позволяет провести многопараметровую оценку и измерение характеристик колебательно-деформационного состояния вала, а именно, положение центральной оси вала, амплитуды, частоты и фазовых соотношений колебательных процессов.

Авторами предложен метод контроля параметров колебаний вала турбоагрегата с помощью радиоволновых преобразователей, расположенных по двум перпендикулярным направлениям к оси вала и измеряющих расстояние до поверхности контролируемого вала. Ось диаграммы направленности излучения каждого преобразователя ориентирована перпендикулярно боковой поверхности контролируемого вала, как показано на рис. 1а.

Расстояние между приемно-передающим элементом и поверхностью контролируемого вала пропорционально уровню напряжения автодинного сигнала:

$$L = kU,$$

где U – уровень напряжения автодинного сигнала; k – дифференциальная крутизна амплитудной характеристики автодина.

При изменении расстояния между датчиком и поверхностью контролируемого вала, как показано на рис.1б, в цепи питания автодинного преобразователя возникает изменение уровня напряжения, величина которого пропорциональна измененному расстоянию.

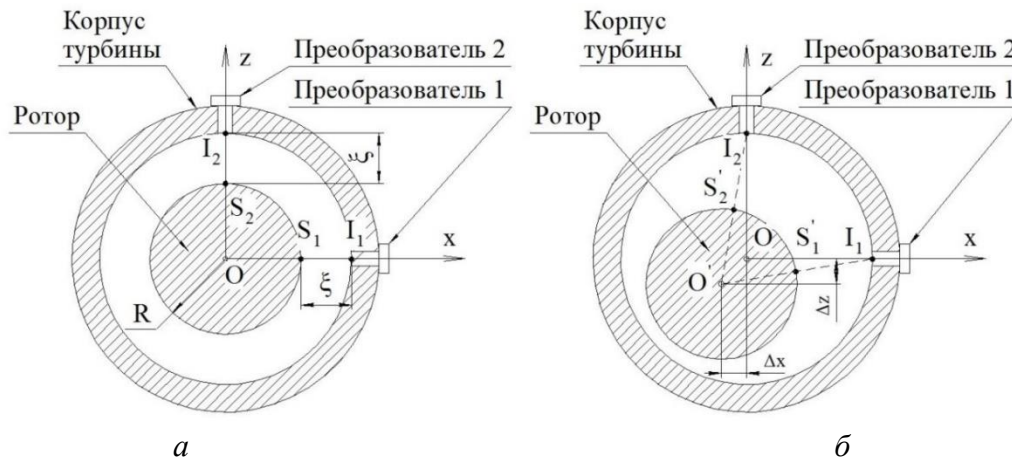


Рис. 1. Положение контролируемой поверхности относительно датчиков:
а – при отсутствии деформаций вала; б – при наличии деформаций вала

В случае смещения центральной оси вала в процессе колебаний, её новые координаты определяются из системы уравнений:

$$\begin{cases} (x - R - \xi)^2 + z^2 = (L_1 + R)^2, \\ x^2 + (z - R - \xi)^2 = (L_2 + R)^2. \end{cases}$$

где R – радиус вала турбоагрегата; ξ – установочный зазор между приемно-передающим элементом и поверхностью контролируемого вала; L_1 и L_2 – расстояния между поверхностью контролируемого вала и приемно-передающим элементом преобразователя 1 и 2, соответственно.

Система уравнений решается аналитически относительно переменных x и z , имеет два решения, одно из которых физически не реализуемо и отбрасывается путем анализа геометрических размеров вала и корпуса турбоагрегата, а второе решение соответствует перемещениям вала по осям Ox и Oz . Анализируя изменения перемещений вала с течением времени можно судить параметрах его колебаний, таких как амплитуда и частота, при этом частотный анализ колебательного процесса позволит определить все составляющие его гармоники.

В результате проведенной работы показана возможность применения радиоволновых преобразователей для контроля параметров колебаний валов турбоагрегатов. Приведены результаты экспериментальных исследований по определению перемещений вала, относительно первоначального положения, разработанным методом.

Список литературы

1. Гаврина, О.В. Анализ работы датчика биений вала с бегущим магнитным полем / О.В. Гаврина // Вестник Пензенского государственного университета. – 2013. – №3. – С. 70-74.
2. Смирнов, А.Н. Анализ повреждаемости роторов паровых турбин (обзор) / А.Н. Смирнов, Н.В. Быкова, Н.В. Абабков, Б.Р. Фенстер // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – №2 (102). – С. 38-46.
3. Черняевский, А.Ж. Применение первичных автодинных СВЧ преобразователей для диагностирования установок и оборудования энергетического и транспортного машиностроения / А.Ж. Черняевский, С.А. Данилин, Д.А. Ворох, А.И. Данилин // Датчики и Системы. – 2021. – №3. – С. 23-36.
4. Данилин, А.И. Схемотехнические особенности получения автодинного сигнала в преобразователях параметров перемещений элементов вращающихся узлов турбоагрегатов / А.И. Данилин, А.А. Грецов // Вестник СГАУ. – 2014. – №2(44). – С. 30-34.

Сведения об авторах

Грецов Андрей Александрович, к.т.н., доцент кафедры радиотехники Самарского университета. Область научных интересов: разработка методов и электронной аппаратуры для определения параметров эксплуатационного состояния элементов вращающихся узлов турбоагрегатов.

Бояркина Ульяна Викторовна, к.т.н., доцент кафедры радиотехники Самарского университета. Область научных интересов: разработка методов и электронной аппаратуры для определения параметров эксплуатационного состояния элементов вращающихся узлов турбоагрегатов.

Данилин Александр Иванович, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой радиотехники Самарского университета. Область научных интересов: разработка методов и электронной аппаратуры для определения параметров эксплуатационного состояния элементов вращающихся узлов турбоагрегатов.

RADIO-WAVE MOTION TRANSDUCERS FOR CONTROLLING THE DEFORMATION STATE OF TURBINE UNIT SHAFTS

Gretskov A.A., Boyarkina U.V., Danilin A.I.
Samara University, Samara, Russia, greckov1989@rambler.ru

Key words: shaft, turbine unit, transducer, radio-wave transducer, displacement, autodyne, rotor, amplitude, frequency.

Increase of reliability and service life of rotating components of turbine units is an important problem of modern mechanical engineering. One of the largest parts of a turbine unit, the deformation state of which needs to be monitored during operation, is the rotor shaft. The most promising method of shaft condition monitoring is the non-contact method using radio wave transducers. The authors propose the method of parameters control of turbine unit shaft vibration by means of radio wave transducers, located in two perpendicular directions to the axis of the shaft and measuring the distance to the surface of the controlled shaft. The results of experimental studies for determining the movement of the shaft relative to its original position by the developed method are presented.