

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС

© 2018 В.В. Неверов, А.И. Данилин

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

FEATURES CONSTRUCTING MATHEMATICAL MODELS OF PRIMARY CONVERTERS IN THE CONTROL SYSTEM PARAMETERS COGWHEELS

Neverov V.V., Danilin A.I. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

Разрабатывается бесконтактный радиоволновой метод контроля рабочего состояния зубчатого колеса, основанный на обработке в реальном времени сигналов, полученных после детектирования отражённого от зубцов колеса зондирующего излучения СВЧ диапазона. Представлены графики зависимости амплитуды сигнала от расстояния между торцом излучающего волновода и контролируемой поверхностью, полученные экспериментальным путём. Данные зависимости были аппроксимированы степенными полиномами.

Зубчатые передачи широко используют в механическом оборудовании для преобразования параметров вращательного движения. Срок их службы определяет показатель безотказности работы механизма, который в свою очередь является одним из критических звеньев дерева отказов. Отказы механического оборудования из-за износа или разрушения зубчатых колёс приводят к длительным простоям и требуют больших затрат для восстановления работоспособности [1].

В настоящее время диагностика дефектов, износа и целостности зубчатых колёс производится в основном в статическом состоянии. Из этого следует, что проблема диагностики технического состояния зубчатых колёс во время их работы, в эксплуатационном режиме, весьма актуальна. Поэтому разрабатывается бесконтактный радиоволновой метод контроля рабочего состояния зубчатого колеса, основанный на обработке в реальном времени сигналов, полученных после детектирования отражённого от зубцов колеса зондирующего излучения СВЧ диапазона.

При построении математической модели взаимодействия первичного преобразователя с объектом контроля вводится некоторая дискретизация процессов, когда область излучения датчика разбивается прямоугольной сеткой на фрагменты с определённым шагом, который задаётся заранее. Также задаются заранее шаг угла поворота шестерни и шаг поворота луча в пределах диаграммы направленности. Для учёта интенсивности каждого зондирующего и отражённого луча

используется соответствующий весовой коэффициент, определяемый их угловым положением в диаграмме направленности датчика. Весовой коэффициент уменьшается с увеличением угла падения относительно нормали к приёмно-излучающему торцу датчика. Диаграмма направленности первичного преобразователя в декартовых координатах будет представлять собой колоколообразный импульс. Соответственно весовые коэффициенты для лучей будут дискретными значениями функции, описывающей колоколообразный, гауссов, импульс. Соответственно, увеличивая или уменьшая шаги дискретизации можно увеличивать или уменьшать точность расчётов. Шаг дискретизации напрямую влияет на скорость расчётов. Кроме этого, при вычислении весовых коэффициентов необходимо решать трансцендентное уравнение, приведённое в выражении (1), не решаемое в аналитическом варианте. Поэтому для его решения необходимо воспользоваться численными методами.

$$e^{-x^2} = kx + b \quad (1)$$

При построении модели взаимодействия зондирующего потока СВЧ диапазона с элементами зубчатого колеса для учёта влияния диаграммы направленности первичного преобразователя, а также влияния изменения расстояния между первичным преобразователем и отражающей поверхностью необходимо введение весовых коэффициентов для каждого луча.

Графики зависимости амплитуды сигнала от расстояния между торцом излучающего волновода и контролируемой поверхностью описанные в статье [2] были получены экспериментальным путём. Амплитудная характеристика для первичного преобразователя, излучающего электромагнитный СВЧ поток на частоте 12 ГГц, изображена на рис. 1. На рис. 2 изображена амплитудная характеристика для первичного преобразователя, излучающего электромагнитный поток на частоте 32 ГГц. Данные зависимости были аппроксимированы степенными полиномами, качество аппроксимации оценено с помощью коэффициента детерминации (R^2). Аппроксимация производилась методом наименьших квадратов.

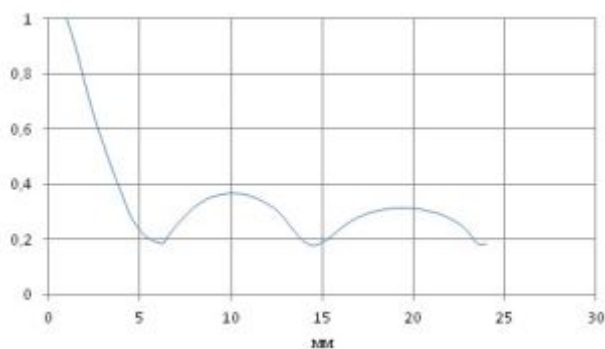


Рис. 1. Амплитудная характеристика для первичного преобразователя на 12 ГГц

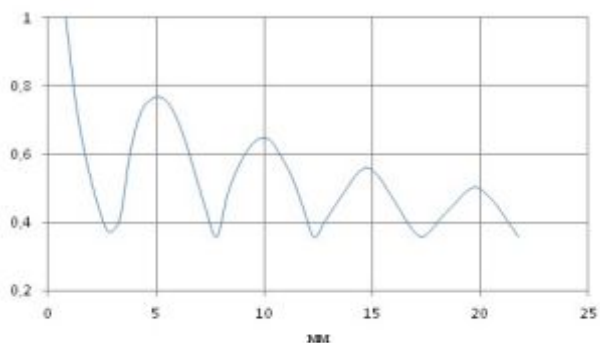


Рис. 2. Амплитудная характеристика для первичного преобразователя на 32 ГГц

В результате на участке $0 < \lambda \leq 0,25$ зондирующего СВЧ потока с частотой 12 ГГц зависимость амплитуды от расстояния можно описать аппроксимирующим полиномом

третьей степени, представленным выражением (2). Коэффициент детерминации (R^2) при этом равен 0,9997.

$$y = 0,0033x^3 - 0,0118x^2 - 0,2238x + 1,2368 \quad (2)$$

Аналогично аппроксимирующий полином для второго участка $0,25 \leq \lambda \leq 0,5$ представлен выражением (3). Коэффициент детерминации (R^2) при этом равен 0,9976.

$$y = -0,0006x^3 + 0,0025x^2 - 0,1383x + 0,6188. \quad (3)$$

Для амплитудной характеристики в диапазоне нормированных длин волн $0 < \lambda \leq 0,25$ для зондирующего потока частотой 32 ГГц аппроксимирующий полином приведен в выражении (4).

$$y = -0,0248x^3 + 0,2579x^2 - 0,9764x + 1,6279. \quad (4)$$

Аналогично аппроксимирующий полином для второго участка $0,25 \leq \lambda \leq 0,5$ представлен выражением (5). Коэффициент детерминации (R^2) при этом равен 0,9997.

$$y = 0,106x^4 - 1,7941x^3 + 11,12x^2 - 29,695x + 29,198. \quad (5)$$

Расстояние, проходимое отражённым лучом, вычисляется по формуле (6).

$$|\bar{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}. \quad (6)$$

В зависимости от того, какой первичный преобразователь нужно промоделировать и в какой из двух диапазонов попадает длина пути, пройденного отражённым лучом, выбирается один из четырёх представленных выше полиномов, по которому производится расчёт весового коэффициента для конкретного отражённого луча.

Библиографический список

1. Неверов В.В., Данилин С.А. Экспериментальная проверка основных аспектов бесконтактного радиоволнового способа определения технического состояния зубчатых колёс // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19. №6. С. 209-213.
2. Неверов В.В., Данилин С.А. Экспериментальная проверка основных аспектов бесконтактного радиоволнового способа определения технического состояния зубчатых колёс // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19. №6. С. 214-219.