

УДК 531.767

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМЫ ДОПЛЕРОВСКОГО СИГНАЛА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАНИЙ ЛОПАТОК ТУРБОАГРЕГАТОВ

Шестопапов М. А., Грецов А. А.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

В процессе эксплуатации лопадки турбоагрегата подвергаются серьёзным механическим нагрузкам, которые могут привести к их повреждениям и разрушению двигателя [1]. Возникает необходимость контроля параметров колебаний лопаток для предупреждения возникновения аварийных ситуаций. Среди разнообразных методов и средств контроля данных параметров перспективным является доплеровский дискретно-фазовый метод. Для его реализации в корпусе энергоагрегата устанавливается автодинный преобразователь, генерирующий СВЧ излучение, направленное на поверхность контролируемой лопатки. Отражённое от плоскости лопатки излучение воздействует на активный элемент первичного преобразователя и меняет его энергетические параметры [2]. В результате в цепи питания автодина возникают пульсации тока, частота которых пропорциональна скорости перемещения лопатки, совершаемого в процессе её движения. Поскольку в первом приближении лопатка совершает колебания по гармоническому закону, сигнал на выходе автодина можно представить выражением:

$$S(t) = A_0 \sin \left[\omega t + \frac{A}{R+L} \sin(\Omega t + \varphi) \right],$$

где A_0 – амплитуда выходного сигнала автодина; ω – частота вращения ротора; A, Ω, φ – амплитуда, частота и начальная фаза колебаний лопатки, соответственно; R – радиус лопаточного колеса; L – длина лопатки.

Поверхность лопатки находится в зоне видимости датчика небольшой промежуток времени, при этом плоскость лопатки меняет своё положение в пространстве, что обусловлено вращением вала. Таким образом, на выходе первичного преобразователя существует фрагмент сигнала в течение ограниченного интервала времени, изменение фазы которого несёт в себе информацию о вращательном и колебательном движении пера лопатки (рис. 1). Методом статистического накопления выбирается фрагмент сигнала, в котором присутствует момент времени, когда вращательный и колебательный компонент фазы выходного сигнала одновременно равны нулю. Этот характерный момент времени определяется по крутизне k_1, k_2 и k_3 наклонных участков фронтов сигнала на выходе первичного преобразователя.

Крутизна фронта сигнала имеет математический смысл его производной в точке t_i и определяется из формулы:

$$k_i = \frac{U_{i+0,1} - U_{i-0,1}}{t_{i+0,1} - t_{i-0,1}},$$

где i – номер импульса; $U_{i+0,1}, U_{i-0,1}$ – значения амплитуды сигнала по уровню $\pm 0,1$, соответственно; $t_{i+0,1}, t_{i-0,1}$ – моменты времени, которым соответствуют значения амплитуды сигнала по уровню $\pm 0,1$, соответственно.

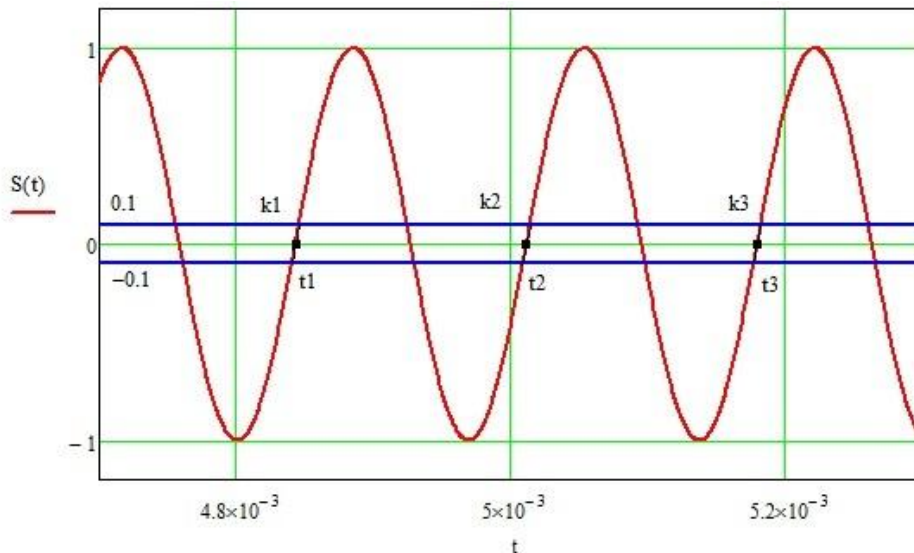


Рис. 1. Фрагмент сигнала на выходе первичного преобразователя

Критерием определения момента времени, когда вращательный и колебательный компонент фазы выходного сигнала одновременно равны нулю, может служить условие:

$$k_1 - k_2 \approx k_3 - k_2.$$

Если данное условие выполняется, то в момент времени t_2 вращательный и колебательный компонент фазы выходного сигнала одновременно равны нулю. Поскольку фрагмент сигнала выбирается в произвольный момент времени, будем считать $\varphi = 0$. Тогда можно составить систему уравнений с двумя неизвестными A и Ω :

$$\begin{cases} A_0(\omega + \frac{A}{R+L}\Omega \cos(\Omega t_2)) = k_2; \\ A_0(\omega + \frac{A}{R+L}\Omega \cos(\Omega t_3)) = k_3. \end{cases}$$

Решив данную систему уравнений, получаем информацию о мгновенной частоте и амплитуде колебаний лопатки:

$$\Omega = \frac{1}{t_3} \arccos \left(\frac{\frac{A_0}{k_3} + \omega}{\frac{A_0}{k_2} + \omega} \right); \quad A = \frac{\frac{A_0}{k_2} + \omega}{\frac{1}{t_3} \arccos \left(\frac{\frac{A_0}{k_3} + \omega}{\frac{A_0}{k_2} + \omega} \right)}.$$

Библиографический список

1. Данилин, А. И. Бесконтактные измерения деформационных параметров лопаток в системах контроля и управления турбоагрегатами [Текст]/ А. И. Данилин, – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2008. – С. 189-198.
2. Данилин А. И., Грецов А. А., Доплеровский метод определения параметров колебаний элементов вращающихся узлов энергоагрегатов//Вестник СГАУ. – 2012. – №3 (34). Ч.2. – С. 171-179.