

Савицкий Роман Васильевич

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Институт кибернетики, кафедра вычислительной техники
Аспирант
Savickij Roman V.
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
Postgraduate student
E-Mail: redowlet@mail.ru

Ким Валерий Львович

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Институт кибернетики, кафедра вычислительной техники
Профессор
Доктор технических наук
Kim Valerij L.
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
Professor
E-Mail: kimval11@rambler.ru

Специальность 05.13.05 – Элементы и устройства
вычислительной техники и систем управления

Расчет амплитудного спектра по длительностям периодов сигнала

Calculation of the amplitude spectrum for duration periods of signal

Аннотация: Описан способ получения амплитудного спектра при использовании в качестве исходных данных длительностей периодов сигнала.

Abstract: The article describes a method of obtaining the amplitude spectrum of a signal, when duration of periods of this signal is used as the initial data.

Ключевые слова. Амплитудный спектр сигнала, длительность периодов вращения, преобразование Фурье.

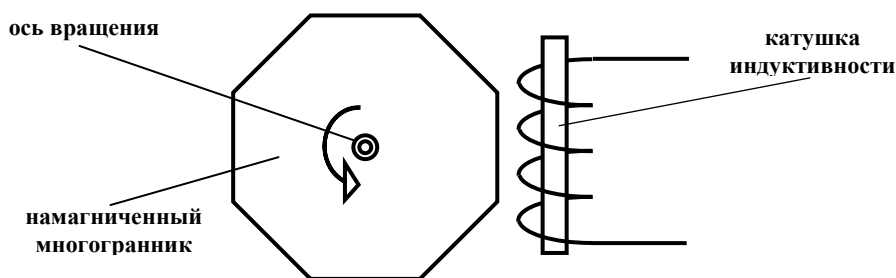
Keywords: Spectrum, duration of rotation periods, Fourier transform.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, соглашение 14.В37.21.0457.

В промышленном оборудовании, принцип действия которого основан на постоянном вращении (насосы, центрифуги, турбины и т.д.), для контроля и диагностики устанавливаются датчики оборотов. С целью упрощения штатных схем контроля часто сигнал с этих датчиков преобразуют в значения периода вращения, по которым в дальнейшем и определяется частота оборотов. Значения периодов сигнала также используются в алгоритмах определения характеристик биения роторов машин [1]. При необходимости проведения полноценного анализа работоспособности оборудования приходится использовать вспомогательные средства диагностики, например, анализаторы спектров [2]. Такой подход возможен при проведении разовых измерений параметров исследуемых объектов, что не позволяет собрать

статистическую информацию за длительный интервал времени с одного или нескольких однотипных механизмов. Тем более, что свои ограничения могут накладывать и промышленная эксплуатация, и вредные условия труда. Таким образом, метод преобразования сигнала с датчика оборотов в длительности периодов ограничен в возможностях оценки работоспособности оборудования. В связи с этим для решения данной проблемы предлагается способ получения амплитудного спектра сигнала с датчика оборотов по значениям длительностей периодов вращения.

Рассмотрим вид сигнала с датчика оборотов. В качестве примера возьмем электромагнитный датчик, работа которого основана на создании *электродвижущей силы (ЭДС)* в неподвижной катушке индуктивности. Последняя расположена вблизи от вращающегося намагниченного многогранника, жестко закрепленного на оси вращения. Иллюстрация принципа работы датчика показана на рисунке ниже.



ЭДС катушки индуктивности имеет вид гармонического сигнала синусоидальной формы. Период основной гармоники сигнала равен отношению длительности оборота ротора к количеству граней многогранника. На основную гармонику накладываются дополнительные, характеризующие колебание скорости вращения и изменение пространственного положения оси вращения.

Для получения частоты оборотов в схемах контроля поступивший аналоговый синусоидальный сигнал с датчика приводится к ТТЛ уровню и подаётся в цифровой автомат для измерения интервалов времени, соответствующих периоду входного синусоидального сигнала.

Предлагаемый способ получения амплитудного спектра по периодам заключается в следующем. Представим, что сигнала с датчика оборотов описывается функцией $Y(x)$. Тогда разложение в ряд Фурье [3] представляет собой интерполяцию значений функции тригонометрическим полиномом вида

$$Y(x) = \frac{A_0}{2} + \sum_{i=1}^m \left(A_i \cos\left(i \frac{2\pi x}{T}\right) + B_i \sin\left(i \frac{2\pi x}{T}\right) \right),$$

где: m – количество членов ряда (гармоник спектра); A_i, B_i – коэффициенты разложения в ряд Фурье.

Значения амплитуд гармоник спектра рассчитываем по формуле

$$G_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}. \quad (1)$$

Для функции $Y(x)$, представленной значениями, взятыми через равные интервалы времени, коэффициенты A_i и B_i определяем по формулам

$$A_i = \frac{2}{n} \sum_{k=1}^n y_k \cos\left(i \frac{2\pi k}{n}\right), \quad (2)$$

$$B_i = \frac{2}{n} \sum_{k=1}^n y_k \sin\left(i \frac{2\pi k}{n}\right), \quad (3)$$

где: n – количество значений функции $Y(x)$; y_k – значение функции $Y(x)$ в k -ой точке.

Необходимое количество значений функции $Y(x)$ находим в виде

$n = m \cdot 2$, где: m – количество членов ряда (гармоник спектра).

Так как формулы (2) и (3) подразумевают использование значений функции y_k , полученных через равные интервалы времени, то необходимо преобразовать длительности периодов сигнала с датчика оборотов в значения функции по формуле

$$y_k = \frac{\pi \cdot \left(k \cdot T_{\text{cp}} - \sum_{j=1}^k T_j \right)}{T_{\text{cp}}}, \quad (4)$$

где: T_j – длительность j -го периода; T_{cp} – длительность периода основной гармоники.

Длительность периода основной гармоники определяем как средний период

$$T_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n},$$

где: n – количество периодов; T_i – длительность i -го периода.

Для пояснения формулы (4) необходимо рассмотреть график на рисунке 1, где сплошной линией показан сигнал с датчика оборотов, пунктирной линией – синусоида основной гармоники. Точка T_{cp} обозначает длительность периода основной гармоники, а точка T_1 обозначает длительность первого периода с датчика оборотов.

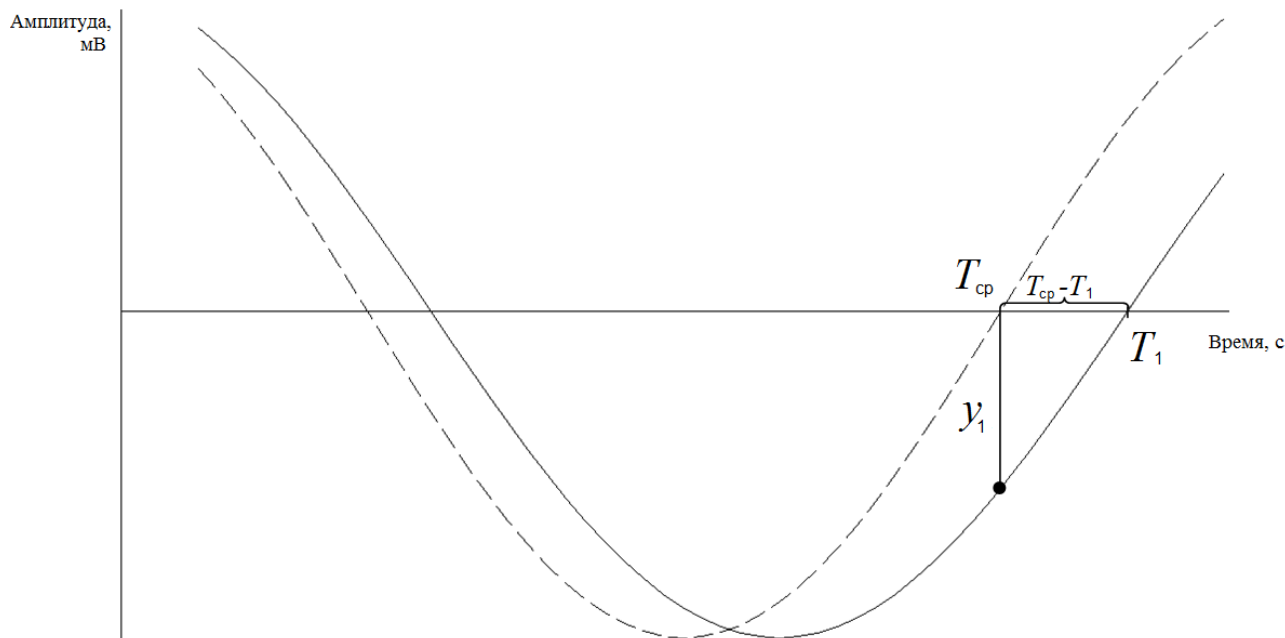


Рис. 1. График синусоиды сигнала с датчика оборотов и синусоиды основной гармоники

При использовании преобразования Фурье для формул (2, 3) необходимы значения y_k , полученные через равный интервал времени. В качестве такого интервала следует использовать среднее значение длительностей периодов, которое равно периоду основной гармоники сигнала с датчика оборотов. Таким образом, для получения y_k требуется определить амплитуду сигнала с датчика оборотов в моменты времени $k \cdot T_{cp}$.

Так как амплитуда колебаний пространственного положения оси вращения на порядок меньше ширины граней намагниченного многогранника, то и амплитуда дополнительных гармоник будет значительно меньше амплитуды основной гармоники. Поэтому дополнительные гармоники будут вносить минимальные искажения в изначальную синусоиду основной гармоники. Из этого следует, что и разность $T_{cp} - T_1$ будет на порядок меньше величины длительности этих периодов. Учитывая, что синус угла, стремящегося к нулю, равен самому углу в радианах, можно сделать вывод, что значение функции $Y(x)$ в точке T_{cp} будет равно переведенной в радианы разности периода основной гармоники и нулевого периода сигнала с датчика оборотов:

$$y_1 = \frac{\pi \cdot (T_{cp} - T_1)}{T_{cp}}.$$

Соответственно следующая точка будет найдена по формуле

$$y_2 = \frac{\pi \cdot (2 \cdot T_{cp} - (T_1 + T_2))}{T_{cp}}.$$

В результате для расчета значения y_k получим формулу (4).

Заметим, что алгоритм вычислений не изменится, если в качестве исходных данных использовать не периоды, а полупериоды сигнала с датчика оборотов. В таком случае требуется только правильно интерпретировать полученные данные.

Предложенный метод расчета спектров был проверен с использованием анализатора спектров ZET017 и его программного обеспечения ZETLAB ANALIZ производства ЗАО «Электронные технологии и метрологические системы». На рисунках 2 и 3 представлены графики спектров одного и того же сигнала с датчика оборотов. На первом показан спектр, полученный с помощью анализатора спектров, на втором – спектр, найденный по значениям полупериодов.



Рис. 2. Спектр сигнала с датчика оборотов, полученный с ZET017

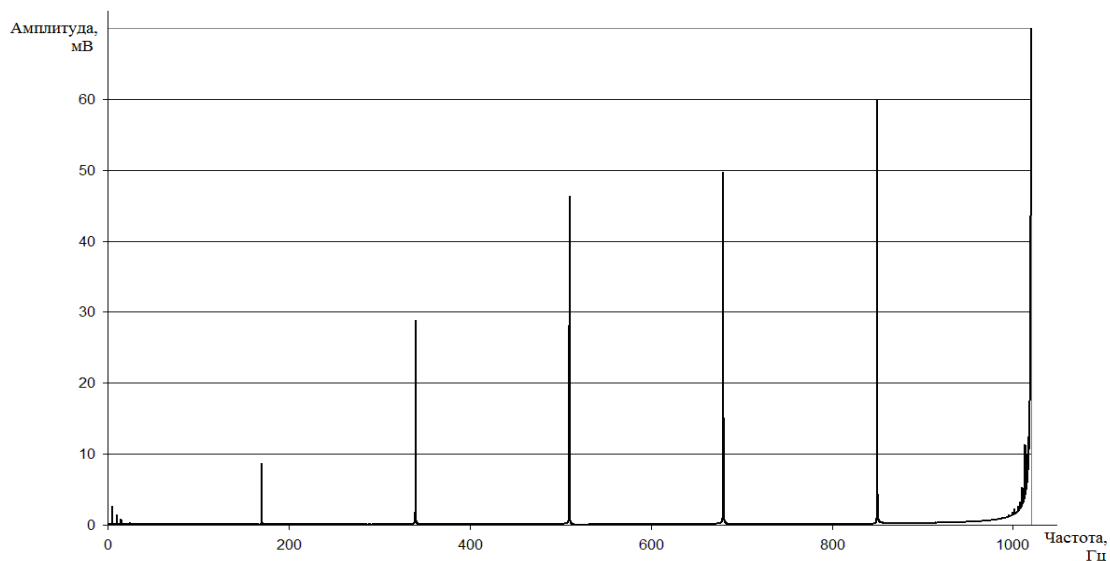


Рис. 3. Расчетный спектр сигнала с датчика оборотов

Из рисунков 2 и 3 виден основной недостаток описанного способа: рассчитанные по формулам (1 – 4) значения амплитуд гармоник не равны, а прямо пропорциональны значениям амплитуд реальных гармоник, присутствующих в сигнале с датчика оборотов. Так же по этим формулам не может быть получено значение амплитуды основной гармоники, даже если

использовать в качестве исходных данных полупериоды сигнала. Это связано с тем, что по теореме Котельникова максимальная частота гармоник в спектре не может быть больше частоты дискретизации деленной на два.

Несмотря на перечисленные недостатки, полученные данным способом значения амплитуд гармоник могут быть использованы для целей сравнительного анализа [4], что вполне приемлемо для отдельных задач контроля и диагностики оборудования.

Выводы. Предложенный метод расчета позволяет расширить возможности по диагностике промышленного оборудования за счет использования штатных схем контроля, что значительно упрощает сбор статистической информации с однотипного контролируемого оборудования. В дальнейшем анализ полученных данных позволит определить закономерности и выработать критерии поиска неисправностей оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев Е.С., Домненко А.И., Астафуров В.Г. Определения радиального биения ротора по сигналу с датчика вращения // Известия Томского политехнического университета. – 2012. Т. 321. – № 2. – С. 31–35.
2. Дьяконов В.П. Современные цифровые анализаторы спектра // Компоненты и технологии. – 2010. – № 5. – С. 185–195.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: «Наука», 1984. – 832 с.
4. Бююль А., Цёфель П. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей / пер. с нем. – СПб.: «ДиаСофтЮП», 2005 – 608 с.

Рецензент: Авдеева Диана Константиновна, д.т.н., профессор, директор ООО «Медприбор», г. Томск.