

УДК 621.317.39 (075.8)

Д.П. Орнатский, к.т.н.
В.В. Довгань

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ НА БАЗЕ N-КАНАЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ

Национальный авиационный университет, г. Киев, sad@nau.ua

В статье анализируются преимущества предложенного устройства для вибродиагностики подшипниковых узлов, которое позволяет повысить достоверность ранней диагностики выхода из строя подшипников качения.

Ключевые слова: подшипниковые частоты, следящая фильтрация, N-канальные фильтры, весовая функция.

Введение

Зарождающиеся дефекты в подшипниках качения газоперекачивающих агрегатов проявляются в частотных спектрах их механических колебаний в частотной области от частот ниже скорости вращения вала до частот нижних гармоник 4-й и 6-й. Требования к аппаратуре при этом в какой-то степени являются противоречивыми потому что, с одной стороны виброанализатор должен обладать высоким быстродействием, а с другой стороны высокой надежностью определения зарождающегося дефекта.

Анализ последних исследований и публикаций

Современная тенденция определения подшипниковых частот сводится к применению узкополосных, следящих и режекторных фильтров. Это направление используется в авионике 5-го поколения для контроля параметров вибрации ГТД (газотурбинного авиационного двигателя) методы следящей фильтрации [1].

Таблица 1

Способы виброконтроля

	Обобщенный виброконтроль ГТД в полосе частот, определяемой минимальной и максимальной частотами вращения роторов			Раздельный виброконтроль каждого из роторов ГТД с помощью узкополосных следящих фильтров		
Тип аппаратуры	ИВ-50П	ИВ-42П	ИВ-79П	ИВ-90СФ	ИВ-42СФ	ИВ-65СФ
Технические характеристики						
Объект	Ил-86 Ту-154 Ту-154М Ту-134	Ан-124 Ан-72 Як-42	Ан-38 Ан-3 Ка-126	Ил-96-300 Ту-204 Ту-214 Ту-234	Ан-124 Ан-74 Ан-74ТК-300	Ил-114
Диапазон измерения виброскорости, мм/с	0-100			0-100		0-150
Погрешность измерения виброскорости, %	±10			±8		

Постановка задачи

К способам реализации следящих фильтров относят:

1. Аналоговый метод. Используют способ построения фильтра на основе переменных состояния и аналоговых перемножителей или усилителей с управляемым напряжением коэффициентом передачи. Недостатком такого решения является неточность настройки обусловленная погрешностями аналоговых перемножителей, а также преобразователей частота-напряжение.

2. Способ основан на использовании N – канальных фильтров (синхронных фильтров с цифровой настройкой) при этом обеспечивается высокая точность перестройки по частоте. Известные методы реализации режекторных и избирательных следящих фильтров основанные на использовании в качестве канальных RC – фильтров обладают низким быстродействием.

Минимальное число каналов N – канального фильтра. Конструкция N – канального фильтра обуславливается необходимостью сделать $\sum_1^N \cos 2\theta_n$ и $\sum_1^N \sin 2\theta_n$ равными нулю, и значение θ_n выбираются так, чтобы разделять период на равные интервалы. Если реализовать

двухканальный фильтр, используя равное распределение периода, то будет видно, что $\theta_1=0$, $\theta_2=\pi$, так что $\sum_1^N \cos 2\theta_n = 2$, хотя $\sum_1^N \sin 2\theta_n = 0$ и критерии нашей конструкции не вполне удовлетворяются.

Эти критерии удовлетворяются при использовании фаз $\theta_n = 2\pi n/N$ для значений N порядка 3 или больше, и таким способом оказывается, что минимальное число каналов для фильтров однородного распределения времени является 3.

Если выбирается неоднородное распределение периода дискретизации, $\theta_1=0$, $\theta_2=\pm\pi/2$, тогда критерии нашей конструкции могут удовлетворяться для двухканального фильтра. Потому что два сигнала дискретизации находятся в фазовом отношении, этот фильтр является цифровой формой квадратурного фильтра.

Возможные формы волны пускового импульса показаны на рис. 1. Форма на рис. 1. (в) допускает, что фильтр может рассматриваться как половина четырехканального фильтра.

Заметим, что, если формы волны дискретизации не перекрывают друг друга, тогда выходит суммарный результат.

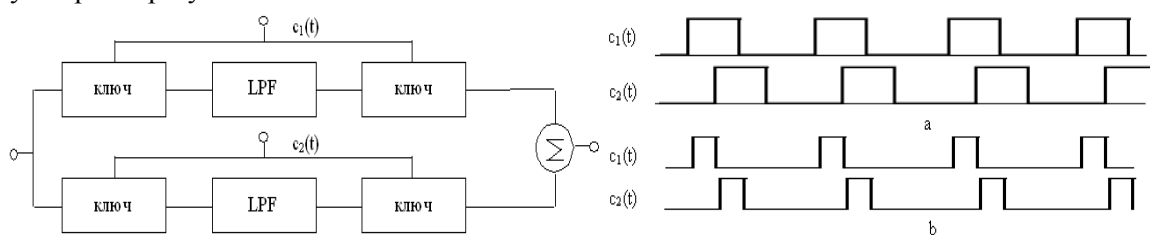


Рис. 1. Временные диаграммы N – канального фильтра

Решение поставленной задачи

Интерес представляет исследование и применение аналого-дискретных фильтров на основе итерационно-интегрирующих преобразователей (ИИП) для построения N – канальных фильтров.

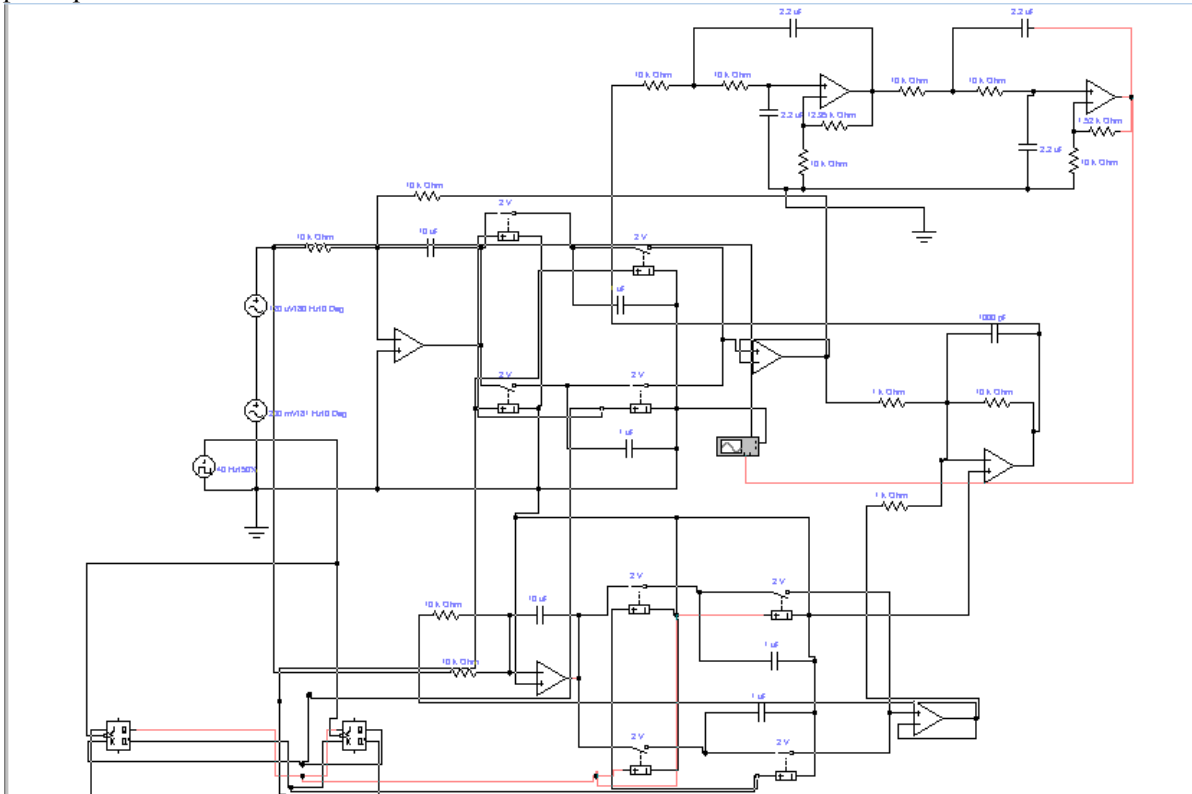


Рис. 2. Функциональная схема следящего режекторного фильтра на основе итерационных-интегрирующих преобразователей

Ниже приведена АЧХ данного фильтра.

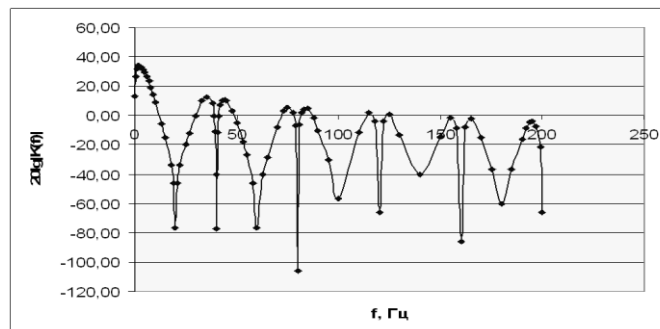


Рис.3. Амплитудно-частотная характеристика следящего режекторного фильтра на основе ИИП преобразователей

Предложенный фильтр может быть использован в устройстве для диагностирования подшипников качения, представленном на рис.4.

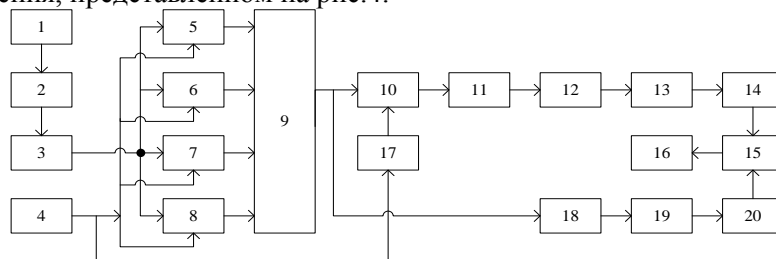


Рис. 4. Устройство для вибродиагностики подшипниковых узлов

1. Виброизмерительный преобразователь; 2. Согласующий усилитель; 3. Автономизирующее устройство; 4. Тахометр; 5-8. Следящие полосовые фильтры; 9.Мультиплексор; 10. Быстродействующий заграждающий синхронный фильтр; 11.Фильтр нижних частот; 12,18. Первый и второй квадраторы; 13, 19. Первый и второй блоки весовых функций (КИХ-фильтры); 14, 20. Первый и второй интеграторы; 15. Делитель;16. Индикатор; 17. Делитель частоты.

Принцип работы устройства для вибродиагностики подшипниковых узлов. Вибрации воспринимаются виброизмерительным преобразователем 1, поступают на согласующий усилитель 2, превращаются в электрический сигнал пропорциональный необходимому параметру вибрации, дальше сигнал поступает на автономизирующее устройство 3, где происходит его стабилизация по амплитудным значением, потом сигнал из выхода автономизирующего преобразователя попадает на входы четырех широкополосных следящих фильтров 5-8, каждый из этих фильтров настроен на гармонику, которая является наиболее близкой к соответствующей подшипниковой частоте, то есть на выходе этих фильтров будем иметь сигнал соответствующей гармоники и расположен рядом с ним сигнал соответствующей подшипниковой частоты. Один из исходных сигналов выбирается мультиплексором 9 и попадает на вход быстродействующего заграждающего синхронного фильтра 10, который реализуется путем использования двух итерационно интегрирующих преобразователей (ИИП), которые управляются меандровыми сигналами, управляющие сигналы получают с помощью делителя фазорасщепителя (ДФР). Быстродействующий заграждающий синхронный фильтр 10 подавляет соответствующую гармонику входного сигнала и пропускает расположенный рядом сигнал с подшипниковой частотой, фильтр нижних частот 11 ограничивает полосу шумов на фоне полезного сигнала, а также выделяет разностную частоту биения, спектральная плотность которого определяется по теореме Парсеваля, возведением в квадрат его часовой реализации и интегрированием за определенное время анализа. Для того, чтобы сократить это время между выходами квадраторов 12, 18 и входами интеграторов 14, 20 включены блоки весовых функций 13, 19, что реализуются путем перемножения косинусоидальной функции в пределах $-\pi$ до π , смещенные по оси ординат на величину своей амплитуды. После интегрирования сигнала за время анализа T_a получим несмещенную оценку суммарной дисперсии входного сигнала.

Преимуществами данного устройства по сравнению с аналогами является быстродействие и точность [2]. Оценку среднего значения квадрата Ψ_x^2 сигнала можно определить по формуле:

$$\hat{\Psi}_x^2 = \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt \quad (1)$$

Оценка среднего значения квадрата находится путем выполнения следующих операций: 1) возведения в квадрат мгновенных значений сигнала; 2) осреднения квадратов мгновенных значений сигнала в пределах интервала времени T . Оценка среднеквадратического значения

определяется как корень квадратный из среднего значения квадрата [3]. Для повышения быстродействия и точности оценки среднеквадратического значения на выходе фильтра применяется детектор истинных значений с КИХ-фильтром. Оценка погрешности определения среднеквадратического значения такого детектора без КИХ-фильтров была сделана в [4].

Описанная операция определения среднеквадратического значения может быть реализована с помощью аналоговых умножителей-делителей в интегральном исполнении, которые сегодня в частотном диапазоне до 10 кГц имеют погрешность на уровне сотых долей процента.

Рассмотрим симметричную функцию окна $w(t)$, которую можно представить в виде:

$$w(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right), \quad -\frac{T}{2} < t < \frac{T}{2}, \quad (2)$$

где a_n - коэффициенты которые определяют окно, T – длительность окна.

Преобразование Фурье для спектра окна:

$$W(f) = \frac{fT \sin(\pi f T)}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{a_n (-1)^n}{(fT)^2 - n^2} \quad (3)$$

Таблица 2

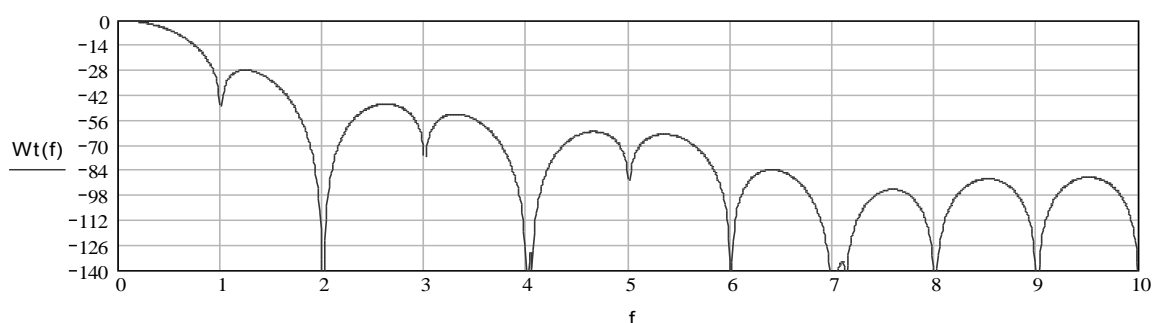
Свойства функций окна

Вид окна	Коэффициенты окна	Высота второго лепестка, Дб	Скорость спада боковых лепестков	Относительная шумовая полоса	Амплитуда на частоте $f=T/2$
Прямоугольное	$a_0=1$	-13	$1/f$	1	-3,92 Дб
Треугольное	$a_0=1, a_1=0,8105, a_2=0, a_3=0,0901, a_4=0, a_5=0,0324$	-26,6	$1/f^2$	1,42	-1,8 Дб
Ханна	$a_0=1, a_1=1$	-32	$1/f^3$	1,5	-1,42 Дб
Плоско-вершинное	$a_0=1, a_1=1,9411, a_2=1,3083, a_3=0,4040, a_4=0,0351$	-93	$1/f$	3,822	-0,01 Дб
Гаусса	$a_0=1, a_1=1,4587, a_2=0,543, a_3=0,0881, a_4=0,0038$	-125	$1/f$	2,215	-0,68 Дб

Для детектора СКЗ:

$$W(f) := \left| \frac{f \cdot T \cdot \sin(\pi f \cdot T)}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{(f \cdot T)^2} + \frac{0.8105 \cdot (-1)^1}{(f \cdot T)^2 - 1} + \frac{0.09 \cdot (-1)^3}{(f \cdot T)^2 - 9} + \frac{0.03242 \cdot (-1)^5}{(f \cdot T)^2 - 25} \right] \cdot \left| \frac{\sin(\pi \cdot f \cdot T)}{\pi \cdot f \cdot T} \right| \right|$$

$$Wt(f) := 20 \cdot \log(W(f))$$



Выводы

Полученные аналитические выражения частотных характеристик детектора СКЗ с весовым интегрированием позволяющие проанализировать эффективность применения различных весовых функций на точность преобразования в новом предложенном устройстве.

Список литературных источников

1. Способы виброконтроля ООО “Техприбор”, www.techpribor.ru.
2. Орнатський Д.П., Довгань В.В. Пристрій для вібродіагностики підшипникових вузлів. Патент на винахід № u 2010 08439, 2010.
3. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов.–М.:Издательство “МИР”1974.–295с.
4. Губарь В.И., Туз Ю.М., Володарский Е.Т. Аналого-цифровые измерительные преобразователи переменного тока. – К.: “Техника”, 1979. – 192 с.