

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ АНАЛОГОВОГО КАНАЛА СИСТЕМЫ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Алтухов С.В., группа АТ-00

Руководитель: ст. преп. Ярошенко О.А.

Оптимизация параметров аналогового канала системы виброакустической диагностики (СВАД) является важной частью исследований, направленных на оптимизацию параметров элементов виброметрической аппаратуры и первичных преобразователей. Это позволит при проектировании СВАД сформулировать набор рекомендаций по выбору элементов измерительного канала и их параметров для регистрации механических колебаний различной формы, частоты и интенсивности.

В большинстве реальных систем вибродиагностики аналоговый канал состоит из [1]: первичного преобразователя (пьезоакселерометра, преобразующего ускорение механических колебаний, действующих на объект в электрический заряд); усилителя заряда (обеспечивающего преобразование электрического заряда, отдаваемого акселерометром в пропорциональную величину напряжения); фильтра нижних частот (подавляющего высокочастотные составляющие вибросигнала, не содержащие полезной информации, и обеспечивающего выполнение теоремы Котельникова для преобразования сигналов в цифровую форму); усилителя с настраиваемым коэффициентом усиления (согласующего уровень ослабленного после ФНЧ сигнала с динамическим диапазоном измерительного канала).

Математические модели этих функциональных узлов должны, прежде всего, учитывать их амплитудно-частотные свойства.

Входным параметром акселерометра является сила F_m , действующая на упругий пьезоэлемент датчика со стороны вибрирующих поверхностей элементов машины. Выходным параметром датчика является отдаваемый им

электрический заряд Q_a . Этот заряд связан с ускорением воспринимаемых датчиком механических колебаний через чувствительность S_{qa} [2].

Передаточная функция (ПФ) акселерометра имеет следующий вид:

$$\frac{Q_a(\omega)}{F_m(\omega)} = \frac{\omega^2 S_{qa}}{(\omega^2 - \omega_m^2)}, \quad (1)$$

где ω_m – резонансная частота закрепленного акселерометра.

Анализируя формулу (1) и известные конструкции датчиков [2] можно сделать следующие выводы: электрический заряд на выходе акселерометра прямопропорционален чувствительности последнего; заряд на выходе датчика тем больше, чем сильнее вибрации объекта, и, соответственно, действующая на датчик сила; в пределах рабочего диапазона датчика амплитуда выходного сигнала последнего возрастает с увеличением частоты.

Важной составной частью многих электронных устройств и их элементов является операционный усилитель (ОУ). Учитывая режим насыщения усилителя его передаточную функцию можно представить в виде [3]

$$\left\{ \begin{array}{l} \pm U_n, \quad \text{при } |U_c| \geq U_n \\ \frac{U_{\text{вых}}(p)}{U_c(p)} = \frac{K_0}{(p\tau_{y1} + 1)(p^2\tau_{y2}^2 + p\tau_{y2} + 1)}, \quad \text{при } |U_c| < U_n \end{array} \right., \quad (2)$$

В данном выражении τ_{y1} , τ_{y2} – постоянные времени, связанные с контрольными частотами операционного усилителя, которые равны $F_{y1} = 1/(2\pi\tau_{y1})$, $F_{y2} = 1/(2\pi\tau_{y2})$, K_0 – коэффициент усиления усилителя, U_n – амплитуда напряжения питания операционного усилителя, U_c – амплитуда вибросигнала. Эти значения являются справочными данными или определяются параметрами конкретной схемы.

Операционным усилителям, как и всем электронным устройствам присущи шумовые свойства. Однако при проектировании системы можно так подобрать усилитель, что его шумовые параметры будут незначительными [4] и при построении модели усилителя ими можно пренебречь, а представление ОУ для исследования ограничить ПФ вида (2).

Усилитель заряда (УЗ) можно представить в виде операционного усилителя с емкостной обратной связью [2]. Используя (2) получаем, что ПФ УЗ, не вошедшего в насыщение имеет вид

$$W_{uz}(p) = \frac{U_0(p)}{Q_a(p)} = \frac{Kp}{A_4p^4 + A_3p^3 + A_2p^2 + A_1p + A_0}, \quad (3)$$

где K – коэффициент усиления УЗ;

A_i – коэффициенты, зависящие от параметров акселерометра, кабеля, и параметров входной цепи УЗ;

U_0 – выходное напряжение усилителя заряда.

Из формулы (3) видно, что ПФ УЗ заряда является звеном пятого порядка. Высокий порядок ПФ дает возможность обеспечить высокую точность в исследовании и подборе параметров рассматриваемого элемента.

Один из наиболее распространенных способов построения фильтров заключается в последовательном соединении нескольких одноступенчатых звеньев. Передаточная функция такого фильтра представляет собой произведение передаточных функций этих звеньев [5].

Для рассматриваемого частотного диапазона характеристика фильтра Баттерворта наилучшим образом аппроксимирует идеальную характеристику. Для фильтра Баттерворта минимальный порядок, обеспечивающий выполнение предъявляемых к фильтру требований, можно определить по формуле

$$n = \frac{\log(10^{\alpha_2/10} - 1)}{2 \log(\omega_1 / \omega_c)}, \quad (4)$$

где α_2 – минимально допустимое затухание в полосе задерживания;

ω_1 – частота, определяющая ширину переходной области $TW = \omega_1 - \omega_c$;

ω_c – частота среза фильтра.

Общая ПФ многокаскадного фильтра Баттерворта (при условии, что каждый каскад имеет коэффициент усиления, равный 1) соответственно для четного и нечетного порядка n имеют следующий вид:

$$\frac{U_2(p)}{U_1(p)} = \prod_{i=1}^{n/2} \frac{C_i \omega_c}{p^2 + B_i \omega_c p + C_i \omega_c^2},$$

$$\frac{U_2(p)}{U_1(p)} = \left[\prod_{i=1}^{n/2} \frac{C_i \omega_c}{p^2 + B_i \omega_c p + C_i \omega_c^2} \right] \times \frac{C_{n/2+1} \omega_c}{p + C_{n/2+1} \omega_c},$$

где B_i, C_i – постоянные, определяемые по справочнику.

Усилитель с настраиваемым коэффициентом усиления [6] после подстройки не меняет своих параметров и может быть представлен в виде модели операционного усилителя с отрицательной обратной связью:

$$W_u(p) = \frac{U_{\text{ВЫХ}}(p)}{U_{\text{ВХ}}(p)} = \frac{K_u}{B_3 p^3 + B_2 p^2 + B_1 p + B_0}, \quad (6)$$

где K_u – коэффициент усиления звена;

B_i – коэффициенты, учитывающие параметры схемы подключения ОУ.

Таким образом, аналоговый канал системы вибродиагностики может быть представлен в виде математических моделей, что дает широкие возможности для его анализа и выбора оптимальных значений наиболее важных параметров, учитывающих конкретные особенности сигналов вибраций.

Перечень ссылок

1. Ярошенко О.А., Алтухов С.В. – Аналоговая часть измерительного канала системы виброакустической диагностики // Сборник трудов магистров ДонНТУ – 2005.
2. Брюль и Кьер - Первичные преобразователи.
3. Кустов О.В., Лундин В.З. – Операционные усилители в линейных цепях. – М: Связь, 1978. – 144 с.
4. Алексеено А.Г., Коломбет Е.А, Стародуб Г.И. – Применение прецизионных аналоговых ИС. – М.: Советское радио, 1980. – 224 с.
5. Джонсон Д. Джонсон Дж. - Справочник по активным фильтрам. – М.: Энергоатомиздат, 1983. - 128 с.
6. Федорков Б.Г., Телец В.А. – Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение. – М: Электроатомиздат, 1990. – 320 с.