

# АЛГОРИТМ РАБОТЫ МАЛОГАБАРИТНОЙ СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ ВИБРОЗАЩИТЫ

*Ю. Г. Сметанина, А. В. Иванов, С. М. Крыжско, Р. Х. Нураев*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Малогабаритная бортовая аппаратура подвергается воздействию вибрации в широком диапазоне частот, что приводит к негативным последствиям. Основной нагрузке подвергаются узлы печатных плат, что приводит к возникновению тензорезистивных эффектов, явлениям магнитоstriction, повреждению контактов и пр., вплоть до разрушения печатной платы. Поэтому была предложена концепция активной адаптивной системы виброзащиты для малогабаритных бортовых устройств, в которую входит акселерометр, блок управления и устройство компенсации – генератор вибраций, установленные на плате вместе с остальным ЭРИ [1].

Особенности малогабаритной системы активной виброзащиты (САВ) бортовой аппаратуры не позволяют применять широко распространенные методы управления, используемые для крупногабаритных средств виброзащиты. Размещение малогабаритной САВ непосредственно на защищаемом устройстве – печатной плате приводит к появлению многочисленных динамических связей, а вместе с тем и усложняет аналитическую модель САВ. Следовательно, актуальной становится задача разработки алгоритма работы малогабаритной САВ.

Принцип работы устройства (рис. 1) состоит в том, что адаптивная система автоматического управления, получая сигнал с акселерометров, обрабатывает его при помощи алгоритма микропроцессора, корректирует генерируемые противофазные вибрации с помощью компенсатора, формируя дополнительное гасящее волновое поле с требуемыми пространственными и частотными характеристиками. Наложение на исходное поле гасящего поля приводит к их взаимной компенсации. Вибрационные воздействия в такой системе рассматриваются с точки зрения цифровой обработки сигналов. Основным параметром регулирования системы является величина

эквивалентной жесткости исполнительного устройства, которую можно менять автоматически, изменяя ток, что позволяет получить эффект гашения колебаний в широком интервале частот возбуждения.

На основе структурной схемы САВ была разработана функциональная схема САВ (рис. 2). В общем случае алгоритм работы САВ может быть представлен в следующем виде: внешние вибронуждения, передаваемые плате с ЭРИ, детектируются системой акселерометров. Сигналы с акселерометров подаются на суммирующее устройство, в котором происходит выделение составляющих сигнала, пропорциональных внесленной динамичности конструкции. Далее сигнал подается на усилитель-преобразователь для преобразования его уровня и, при необходимости, формы до наиболее оптимальной для дальнейшей работы. После этого на основе входной информации микропроцессор (вычислитель) формирует сигнал управления исполнительным устройством. Далее сигнал с вычислителя попадает на драйвер управления исполнительным устройством. Исполнительное устройство производит на плату с ЭРИ ответное воздействие пропорциональное внешнему вибровоздействию.

Согласно принципу работы, система должна автоматически определять коэффициент жесткости исполнительного устройства и подавать сигнал для реализации. Виброзащитные системы обладают типовыми активными элементами, имеющие передаточные функции элементарного типа, которые определяются на основе обычных правил преобразования, используемых в теории автоматического управления [2]. На основе математического моделирования активной системы виброизоляции в соответствии с рис. 3 и структурной схемой была построена передаточная функция (1).



Рис. 1. Структурная схема САВ



Рис. 2. Функциональная схема САВ

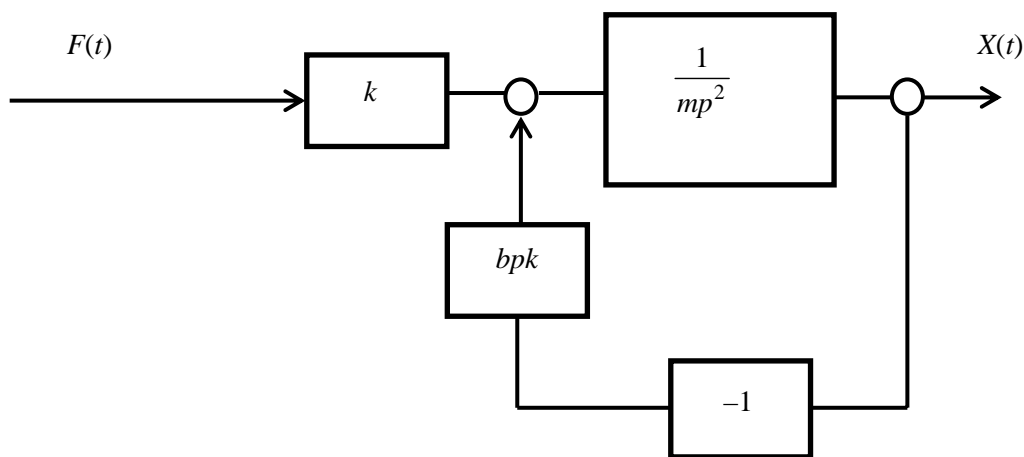


Рис. 3. Структурная схема САВ с точки зрения задачи управления

В данной схеме  $k$  – упругий элемент – плата,  $bp$  – демпфирующий элемент – электродинамический привод,  $\frac{1}{mp^2}$  – массо-инерционный элемент – вся система.

$$W_1 = \frac{F(t)}{X(t)} = \frac{bp+k}{mp^2+bp+k}. \quad (1)$$

Математическое моделирование активной системы виброизоляции в соответствии с алгоритмом и структурной схемой проведено в программе MatLab, рис. 4.

Недостатком данного типа управления является то, что он предполагает предварительное исследование частотных характеристик конструкции для определения резонансной частоты. То есть устройство компенсации срабатывает при приближении показаний с датчика к условиям резонанса. При этом необходима как можно наиболее точная идентификация

математической модели, от качества которой зависит эффективность, а увеличение компонентов на печатной плате, изменение конструктивных характеристик ведет к усложнению данных систем. Также при моделировании упрощаются функции внешнего вибровоздействия, что приводит к снижению качества регулирования и перерасходу энергоресурсов.

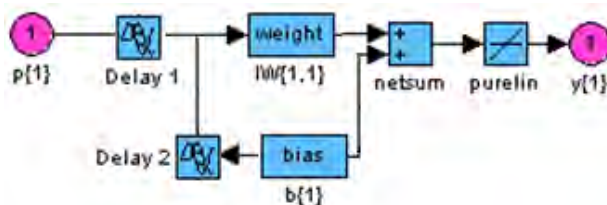


Рис. 4. Схема набора в MatLab

Поэтому еще одним возможным способом решения проблемы управления САВ является применение интеллектуальных методов, одним из которых

является нечеткая логика. Данный подход к решению проблемы управления основан на правилах вида «IF X AND Y THEN Z», а не на моделировании системы автоматически и понимании внутренностей системы [4]. Нечеткая логика использует численные параметры для того, чтобы оценивать ошибку и скорость изменения ошибки, но точные значения этих величин обычно не требуются. В рассматриваемом случае за ошибку принимают разность показания датчика и управляющего сигнала, затем происходит дифференциация по времени для вычисления скорости изменения ошибки.

В целом весь процесс нечеткого управления можно разбить на несколько шагов: фазсификация – переход к нечеткости и определение функций принадлежности, разработка нечетких правил – описание с помощью алгоритма «если, то» и дефазсификация – переход к физическим величинам, т. е. к управлению. Как известно фаза является одним из параметров, подтверждающим резонанс, а именно изменение фазового угла. Резонанс можно определить с помощью одноканального анализатора, как увеличение амплитуды колебания на резонансной частоте и по изменению фазы на  $180^\circ$  градусов при переходе через резонанс. Построенная на основании этих измерений амплитудно-фазочастотная характеристика позволяет идентифицировать возникновение резонанса. В таком случае каждая ситуация определяется двумя состояниями: первое состояние описывает величину «Внешнего воздействия», второе – величину «Угла». Состояния объединены оператором «И», представляя тот факт, что оба эти состояния должны быть существенными для соответствующей ситуации.

Фазсификация заключается в определении степени принадлежности переменной к нечеткому множеству, на этом этапе необходимо перейти к нечеткости, а именно определить лингвистические переменные, в результате чего получаем набор переменных:

– Внешнее воздействие  $\epsilon$  низкое; среднее; высокое.

– Угол  $\epsilon$  слишком маленький; норма; слишком большой.

– Жесткость  $k \in$  нулевая, низкая, средняя, высокая.

Нечеткое множество определяется при помощи функций принадлежности. Несколько нечетких множеств можно определить через одну переменную, которая принимает нескольких значений, например для нечеткого множества «Угол» значения «слишком маленький угол», «нормальный угол» и «слишком большой угол» (рис. 5). Тогда угол  $70^\circ$  можно отнести к группе «слишком большой» со степенью принадлежности 0,3 и к группе «слишком маленький» со степенью принадлежности 0,7.

Функция принадлежности может принимать любую форму, но чаще используются кусочно-линейные линии. Описав каждую лингвистическую

переменную функцией принадлежности и создав базу нечетких правил, в результате получим комбинацию предложений объединенных операторами AND. Поведение базы нечетких правил зависит от входов, в рассматриваемом случае – от функций принадлежности «Внешнего воздействия» и «Угла», и является статичным и нелинейным. Комбинация предложений лингвистических переменных – это общее выходное нечеткое множество, параметры которого в результате дефазсификации станут управляющим сигналом для управления жесткостью устройства компенсации. Данный пример показывает возможность применения нечеткой логики к решению задачи алгоритма работы устройства активной адаптивной виброзащиты малогабаритной бортовой аппаратуры при более доскональном описании лингвистических переменных, базы нечетких правил и доведения решения задачи до дефазсификации.



Рис. 5. Функция принадлежности, переменная и лингвистическое описание

В результате, описанный в докладе алгоритм работы может быть реализован несколькими методами, выбор которого зависит от объема исходной информации о модели конструкции.

## Литература

1. Сметанина Ю. Г., Иванов А. В., Куфтин А. А., Калмыков С. А. Проблемы создания систем активной виброзащиты малогабаритной бортовой аппаратуры. XXII Нижегородская сессия молодых ученых. Технические науки: материалы докладов. Том I / Княгинино: НГИЭУ, 2017. С. 135–142.

2. Елисеев С. В., Трофимов А. Н., Большаков Р. С. Вибрации и динамика машин: расчетные схемы, структуры и математические модели. Часть 1 // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2014, № 2. С. 49–60.

3. Шеври Ф., Гели Ф. Нечеткая логика // Техническая коллекция Schneider Electric. Выпуск № 31, 2009 г.